



Universidade Federal
de Campina Grande

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR – CCTA
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL - UACTA

DANYLO DE ANDRADE LIMA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETOS PRODUZIDOS
A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUOS**

POMBAL - PB

2020

DANYLO DE ANDRADE LIMA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETOS PRODUZIDOS
A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para conclusão do curso de Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Renilton Correia da Costa.

L732e Lima, Danylo de Andrade.

Estudo do comportamento mecânico de concretos produzidos a partir da substituição do agregado graúdo por resíduos / Danylo de Andrade

Lima. – Pombal, 2020.

68 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2020.

“Orientação: Prof. Dr. Renilton Correia da Costa”.

Referências.

1. Resíduos sólidos. 2. Resíduos da construção. 3. Resíduos de caulim. 4. Concreto sustentável. I. Costa, Renilton Correia. II. Título.

CDU 628.4(043)

DANYLO DE ANDRADE LIMA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE CONCRETOS PRODUZIDOS
A PARTIR DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO POR RESÍDUOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
à Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, Campus Pombal, como parte das
exigências para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Civil.

Pombal, 27 de Novembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Renilton Correia da Costa

Prof. Dr. Renilton Correia da Costa
Orientador
UACTA/UFCG

Larissa Santana Batista

Prof^a. Ma. Larissa Santana Batista
Examinadora Interna
UACTA/UFCG

Raquel Ferreira do Nascimento

Raquel Ferreira do Nascimento
Examinadora Externa
Engenheira Civil

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus que me deu força para prosseguir adiante e a minha família, pois são minha base e referência diária de trabalho e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, além disso, colocar pessoas tão maravilhosas no meu caminho.

A Universidade Federal de Campina Grande *Campus* Pombal, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental pela oportunidade de realização do curso, agradeço a todos os servidores, técnicos e coordenadores que fizeram parte da minha formação.

Agradeço a minha mãe Conceição Andrade e ao meu pai Francisco Flávio por todo apoio, por todas as orações, carinho, atenção, por sempre me motivarem e se esforçarem para me manter estudando, mesmo com todas as dificuldades da vida. Saibam que tudo que sou devo a vocês.

A minha irmã Dayane, que é minha referência e de quem tenho muito orgulho, obrigado por todo o apoio, carinho, pelos puxões de orelha, por todo o aprendizado, sem falar na ajuda e nas contribuições feitas para este trabalho, sempre estava do meu lado me ajudando nessa caminhada muito obrigado Maninha.

À Renilton Correia da Costa, meu orientador, pela paciência, atenção e dedicação. Obrigada pela aprendizagem e pelo crescimento.

A Larissa Santana Batista, por todos os ensinamentos, orientações, pela dedicação, incentivo e paciência. Por acreditar em mim no meu potencial, sempre me motivado a crescer e ser um bom profissional.

A Raquel Ferreira do Nascimento, por ter aceitado participar da banca de avaliação do trabalho e pelas contribuições.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação profissional e que auxiliaram também em meu desenvolvimento pessoal.

A Karinne Martins, por todo o companheirismo, paciência, apoio, por sempre me dar força nos momentos difíceis, me amparar nas disciplinas, obrigado por sempre está ao meu lado, por todos os momentos, por todo o aprendizado e crescimento que vou levar pra toda a vida.

A meus amigos eu não sei nem como agradecer, nesse período na UFCG fiz amizades para vida a toda, sou imensamente grato pela paciência, por toda ajuda, explicações, noites viradas nesses 5 anos de sofrimento, os aperreios nos projetos, nas provas, muito obrigado por todos ensinamentos, pelas histórias, pelas resenhas, pelas cachaças, pelas pontes, por tudo, muito obrigado por tudo! Em especial a Negão, Marcelo, Nathan, Bruno, Edmilson, Vinicius, Lissia, Bruna, Marcus David, Gil, Marco Antônio e todos que convivi durante essa caminhada.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão de mais uma etapa em minha vida. Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A construção civil demanda uma grande quantidade de recursos naturais desde a extração até a finalização da obra e após sua demolição gerando grandes volumes de resíduos. O setor é responsável por cerca de 30% do consumo de matéria-prima e 25% da emissão de resíduos em escala mundial. Outro setor potencialmente poluidor é o da mineração, a exemplo o processo de beneficiamento de Caulim onde cerca de 75% do material extraído transforma-se em resíduo. Um destino viável para o reaproveitamento do resíduo da construção e da mineração é a utilização na substituição do agregado convencional como matéria-prima na confecção de concretos sustentáveis. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento mecânico de um concreto alternativo a partir da utilização do resíduo da construção e demolição (RCD) e do resíduo de caulim grosso (RCG) como substituição parcial do agregado graúdo, verificando o atendimento das propriedades requeridas, a fim de obter um desempenho eficiente quando comparando a um concreto convencional. Os traços tiveram substituições em proporções de 15%, 30% e 50% para os resíduos e foram submetidos a períodos de cura de 7, 14 e 28 dias. Inicialmente foi realizada a caracterização física dos materiais: granulometria, massa unitária e específica, absorção e módulo de finura. após fez-se a moldagem dos corpos de prova, realizou-se os ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral. Os resultados apontam que os corpos de prova com substituição dos resíduos RCD e RCG obtiveram valores de resistência similares e até superiores em relação ao concreto convencional. Para o concreto com RCD, os corpos de prova do traço de 15% apresentaram a maior resistência atingindo 21,6 MPa, sendo superior aos traços de 30% e ao convencional após 28 dias de cura, no entanto o traço de maior substituição do agregado (RCD 50%) não atingiu a resistência estipulada pela norma. Já para o concreto com substituição de RCG tem-se que o traço de 15% também obteve os melhores valores de resistência, chegando a 27,28 MPa na compressão simples, ficando abaixo apenas do traço de referência após 28 dias de cura. Constata-se que há viabilidade do uso dos resíduos como substituição dos agregados naturais, visto que mais de 80% das composições testadas atendem aos padrões das normas. Desse modo sua utilização proporciona vantagens econômicas além de evitar a extração de recursos naturais e o descarte inapropriado desses resíduos, promovendo sustentabilidade e uma boa relação entre a construção civil e o meio ambiente.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos; Resíduo da Construção; Resíduos de Caulim; Concreto Sustentável.

ABSTRACT

Civil construction demands a large amount of natural resources from extraction to completion of the work and after its demolition, generating large volumes of waste. The sector is responsible for around 30% of raw material consumption and 25% of waste emission on a global scale. Another potentially polluting sector is mining, for example the process of processing Kaolin where about 75% of the extracted material becomes waste. A viable destination for the reuse of construction and mining waste is the use of replacing natural aggregate as a raw material in making sustainable concrete. The objective of this work is to evaluate the mechanical behavior of an alternative concrete from the use of construction and demolition waste (RCD) and coarse kaolin waste (RCG) as a partial replacement of the coarse aggregate, checking the compliance with the required properties, in order to obtain an efficient performance when comparing to a conventional concrete. The strokes had replacements in proportions of 15%, 30% and 50% for the residues and were submitted to curing periods of 7, 14 and 28 days. Initially, the materials were characterized: granulometry, unit and specific mass, absorption and fineness modulus, after the specimens were molded, the mechanical tests of resistance to simple compression and traction by diametrical compression were carried out. The results show that the specimens with replacement of the RCD and RCG residues obtained similar and even higher resistance values in relation to conventional concrete. For concrete with RCD the specimens of the 15% line showed the highest strength reaching 21.6 MPa, being higher than the 30% line and the conventional one after 28 days of curing, however the line with the greatest aggregate replacement (RCD 50%) did not reach the resistance stipulated by the standard. As for concrete with RCG replacement, we found that the 15% trace also obtained the best strength values, reaching 27.28 MPa, being below the reference trace only after 28 days of curing. The feasibility of using waste as a substitute for natural aggregates is seen, since more than 80% of the tested compositions meet the standards, standards. In this way, its use provides economic advantages, in addition to avoiding the extraction of natural resources and the inappropriate disposal of this waste, promoting sustainability and a good relationship between civil construction and the environment.

Keywords: Solid Waste; RCD; Kaolin waste; Sustainable Concrete.

LISTA DE FIGURA

Figura 1: Matérias primas utilizadas na fabricação do cimento.	21
Figura 2: Prédio da escola "Im Birch"	30
Figura 3: Projeto do Campus Norte da Universidade Humboldt.....	30
Figura 4: Fluxograma das atividades.....	34
Figura 5: Resíduo encontrado na obra.	35
Figura 6: Britador de mandíbula elétrico usado para triturar o material bruto.....	36
Figura 7. RCD britado.	36
Figura 8: Coleta do resíduo de caulim no município de Junco do Seridó – PB.....	37
Figura 9: Amostra do resíduo grosso oriundo do beneficiamento de caulim.....	37
Figura 10: Disposição das peneiras no agitador mecânico.....	38
Figura 11: Moldes metálicos	40
Figura 12: Betoneira utilizada na moldagem.....	41
Figura 13: Slup test usado para o ensaio de consistência.....	41
Figura 14: Desmoldagem dos corpos de prova.	42
Figura 15: Tanque utilizado para cura dos copos de prova.	42
Figura 16: Prensa hidráulica utilizada no ensaio de resistência à compressão axial.....	43
Figura 17: Prensa hidráulica utilizada no ensaio de resistência à compressão diametral.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica da areia.	45
Gráfico 2: Análise granulométrica – agregado graúdo – brita 1	47
Gráfico 3: Granulometria do RCG x Brita 0.	49
Gráfico 4: Resistência à Compressão Simples RCD	54
Gráfico 5: Resistência à compressão simples RCG.....	55
Gráfico 6: Resistência à compressão diametral Resíduo da Construção.....	56
Gráfico 7: Resistência à Compressão diametral Caulim.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do concreto em relação à sua resistência a compressão.	19
Tabela 2: Designação normalizada, siglas e classe do cimento Portland.....	22
Tabela 3: Classificação do agregado miúdo quanto à dimensão.	23
Tabela 4: Classificação do agregado graúdo quanto à dimensão.	24
Tabela 5: Limites da composição Granulométrica do agregado Graúdo	25
Tabela 6: Quantidade total de RCD coletados pelos municípios no Brasil.....	28
Tabela 7: Normas utilizadas.	34
Tabela 8: Nomenclatura dos teores de substituição dos traços	40
Tabela 9: Diâmetros representativos.	46
Tabela 10: Caracterização do agregado miúdo.....	46
Tabela 11: Diâmetros mais representativos.....	48
Tabela 12: Dados correspondentes ao ensaio de massa unitária dos agregados graúdos	50
Tabela 13: Absorção de água dos agregados graúdos.	51
Tabela 14: Dados correspondentes aos Traços.....	52
Tabela 15: Dados correspondentes aos traços	52
Tabela 16: Dados correspondentes ao ensaio de abatimento	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.2 Justificativa e relevância.....	16
2. REFERENCIAL TEORICO.....	18
2.1 Concreto.....	18
2.1.1 Cimento	20
2.1.2 Agregado miúdo	23
2.1.3 Agregado graúdo	24
2.2 Propriedades do concreto no estado fresco e endurecido	25
2.3 Resíduo da Construção e Demolição.....	26
2.4 Caulim	29
2.5 Estado da arte.....	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 Materiais	33
3.2.1 Preparação do resíduo de RCD.....	35
3.2.2 Preparação do resíduo RCG	36
3.2.3 Caracterização física.....	37
3.2.3.1 Análise granulométrica.....	38
3.2.3.2 Massa unitária, massa específica e finura.....	38
3.2.3.3 Absorção de água.....	39
3.4 Definições dos traços.....	39
3.4.1 Moldagens dos corpos de prova	40
3.6.2 Resistencia à compressão diametral	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45

4.1	Caracterização física dos materiais	45
4.1.1	Agregado miúdo	45
4.1.2	Agregados graúdos	46
4.1.2.1	RCD x Brita 1	46
4.1.2.2	RCG x Brita 0	48
4.3	Absorção	50
4.4	Determinação dos traços e dosagem.....	51
4.5	Ensaio de consistência	53
4.6	Ensaio da resistência à compressão axial simples	53
4.7	Ensaio da resistência à tração por compressão diametral	56
5.	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

No ramo da construção civil, o uso de materiais compósitos é realizado em larga escala, devido a sua fundamental importância e aplicabilidade em várias etapas da obra. Mazur (2010) define material compósito como a associação de dois ou mais componentes distintos com o intuito de melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais. Assim, o próprio concreto já é considerado um compósito, pois o mesmo apresenta mais de uma fase na sua constituição, como por exemplo, a pasta de cimento e os agregados.

Desse modo, o concreto feito com cimento Portland se fortaleceu como o material construtivo mais utilizado no mundo ao longo do século XX (PEREIRA, 2017). Durante esse período foram construídas pontes, barragens, aeroportos e inúmeras outras construções no Brasil. Associado a essas obras e ao crescimento do país, foram elaboradas normas para garantir a qualidade e a segurança das construções por meio de padrões estabelecidos nas mesmas, um exemplo é a norma NBR 15146-1, onde a mesma regulamenta o controle tecnológico de qualidade do concreto.

Com a grande utilização do concreto como material construtivo nota-se que a parcela de resíduos da indústria da construção civil usada como material de aterro ou despejados indevidamente em terrenos baldios, tem aumentado ao longo do tempo. Isso levou a uma crescente falta de áreas de aterro, terrenos se tornando depósitos de lixo, os custos de despejo correto vêm aumentando. Portanto, o manuseio de resíduos tornou-se uma das questões ambientais mais importantes nos países em desenvolvimento (BEHERA *et al.*, 2014)

A partir daí, a problemática ambiental que envolve a geração de resíduos tomou proporções de ampla magnitude, assim tornou-se prioridade as discussões que buscassem reduzir a produção desses resíduos, deste modo como maneiras de destinação final aos mesmos.

O descarte inadequado dos resíduos da construção e demolição acarretam em diversos prejuízos a paisagem, bem como para o meio ambiente, pois além de poluírem o solo apresentam uma ameaça à saúde pública, pois são usados de abrigo para animais peçonhentos, facilitando a proliferação de doenças (KARPINSK, *et al* 2009).

Vale ressaltar, que a vasta exploração dos recursos naturais tem gerado grande preocupação com o meio ambiente, somada com o grande contingente de resíduos lançados na natureza todos os anos. Esses resíduos advêm dos mais variados setores, como os produzidos pela indústria da construção civil que são conhecidos como Resíduo da Construção e Demolição

(RCD), outro grande problema está no setor da mineração que geram grande quantidade de resíduo dos mais diversos tipos, provenientes dos processos de beneficiamento das rochas (ANJOS *et al.*, 2011).

A atividade de mineração produz vários resíduos, um deles advém do beneficiamento do caulim, o mesmo é dividido em resíduo de caulim fino (RCF) e resíduo de caulim grosso (RCG), que é um minério composto por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, com uma maior quantidade de caulinita e haloisita, além de conter outras substâncias sob forma de impurezas. O caulim é uma das matérias-primas mais importantes de enchimento filler no preparo de papel, ele é parte da composição de pastas cerâmicas, e também é usado em menor escala para a produção de materiais refratários, plásticos, borrachas, tintas, entre outros (ANJOS *et al.*, 2011).

No beneficiamento do caulim, são produzidos vários tipos de rejeitos, cerca 80 a 90% do material extraído da natureza é descartado em forma de montanhas de resíduo no meio ambiente aumentando assim o impacto gerado (MENEZES *et al.* 2009). Assim, durante esses processos são gerados dois principais tipos de resíduos, um originário da parte denominada de separação da parte grossa, onde o quartzo é separado do minério, gerando 70% do resíduo total, e a outra etapa tem por finalidade separar o caulim da parte fina, se tornando um resíduo com granulometria menor. Em função desse método de beneficiamento do caulim, seu resíduo se torna um produto alternativo que tem grande potencial na utilização em argamassas por suas propriedades físicas (DIAS, 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho tem por finalidade verificar a viabilidade da produção de concreto fabricados a partir da substituição parcial dos agregados graúdos por resíduo da construção e demolição e resíduo de caulim de modo a obter um concreto mais sustentável e que atenda as especificações das normas brasileiras.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho mecânico do concreto com substituição parcial dos agregados graúdos por resíduo da construção civil e resíduo caulim grosso, verificando a viabilidade de produção e o comportamento mecânico referente as diferentes composições de agregados para fins estruturais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização dos agregados e do cimento utilizados nos traços em estudo;
- Determinar o desempenho do concreto produzido com diferentes teores de substituição do agregado graúdo pelo Resíduo da Construção e Demolição (RCD) e pelo Resíduo do Caulim Grosso (RCG), através dos ensaios de resistência à compressão simples e diametral;
- Estimar a potencial aplicação desses resíduos na construção civil como alternativa para diminuição dos resíduos lançados no meio ambiente.

1.2 Justificativa e relevância

A construção civil é um setor que engloba um amplo mercado de bens e serviços, gerando assim, muitos empregos direta e indiretamente, além de ter reflexo direto no desenvolvimento do país e por sua vez na vida dos brasileiros.

Desse modo, o desenvolvimento de conhecimento em novas tecnologias é fundamental para a evolução dos métodos construtivos por meio de novos materiais, novas técnicas, novos produtos, apesar de já existir uma gama de materiais no mercado, no entanto muitas vezes não são aplicados por falta de conhecimento técnico para a implantação ou por receio de testar os produtos não consolidados.

No âmbito geral a utilização de concretos especiais vem ganhando espaço no mercado da construção civil em comparação com o concreto convencional, pois, o concreto fabricado com materiais sustentáveis vêm sendo alvo de estudos e aprimoramentos ao longo dos anos. Dessa maneira, a sua utilização é indicada para melhorar os custos de produção do concreto sem perder suas características, além é claro de reduzir imensamente a poluição gerada pela indústria da construção civil.

No Brasil, os RCD são uma crescente preocupação, seja pelo descarte irregular destes resíduos, desencadeando em problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública, seja sobrecarregando os sistemas de limpeza pública, o que representa cerca de 50% a 70% da massa dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSUs IPEA (2012).

Outra atividade preocupante é a mineração, a exploração do caulim que produz uma grande produção de resíduos, cerca de 80 a 90% do volume bruto explorado vira rejeito

(RESENDE *et al.*, 2008). Esses rejeitos são jogados em locais a céu aberto, trazendo muitos problemas ao meio ambiente e as pessoas que moram próximos a esses depósitos.

Além disso, no ano 2019 o SINDUSCON-SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo), mostrou que o custo da brita natural aumentou cerca de 10,02% em doze meses. Além de aumentar custos, também relacionado ao esgotamento da pedreira e a extração de agregados naturais envolvendo processos mais rígidos.

Portanto, os concretos produzidos com resíduos são a melhor opção para reduzir os danos causados ao meio ambiente, no que diz respeito a exploração desenfreada dos recursos naturais, bem como o descarte inadequado dos resíduos da construção civil e da mineração colaborando para o desenvolvimento sustentável.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1 Concreto

Desse modo, para Mehta e Monteiro (2008), o concreto é um compósito, formado por uma pasta contendo aglomerante e agregados, e de acordo com a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM, 1997), o concreto é um material que se constitui de um meio aglomerante no qual se agrupam partículas de diferentes natureza, o aglomerante é o cimento em presença de água e os agregados são materiais granulares como areia, pedregulho e rocha britada. Em relação aos agregados, pode-se afirmar que se as partículas forem maiores que 4,75mm, o mesmo é denominado de gráudo; caso contrário, o agregado é chamado miúdo. Ao concreto no estado pastoso, ainda pode-se adicionar substâncias químicas, os chamados aditivos, que alteram algumas propriedades, que conferem ao concreto às melhorias no desempenho.

Conforme Pedroso (2009), entre os materiais de construção utilizados na construção civil, o concreto é um material largamente difundido. Sendo encontrado em casas de alvenaria, rodovias, pontes, nos edifícios mais altos do mundo, torres de resfriamento, usinas hidrelétricas e nucleares, engenharia de saneamento e até plataformas móveis de produção de petróleo. No Brasil, o concreto que sai da central dosadora é de aproximadamente 30 milhões de metros cúbicos, é importante ressaltar que com o rápido desenvolvimento das cidades brasileiras, esses números aumentam de maneira significativa a cada ano (LIMA *et al.*, 2014).

Conforme o Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON (2020) o concreto é composto por cimento e agregados gráudos, miúdos e água misturados de forma homogenia, além disso pode ter em sua composição algumas adições e ou aditivos que podem melhorar as propriedades após o endurecimento do concreto.

Assim, entre as características que mais interferem na resistência do concreto são a massa específica e a absorção de água, essas propriedades são diretamente associadas com a porosidade do oncreto em estado seco, o agregado no concreto interfere diretamente na resistência final do concreto (ANGULO, 2005).

De acordo com as disposições da American Society for Testing and Materials (ASTM, 2001), o concreto é um material composto por um meio de ligante formado pela pasta de cimento e pelos agregados que é qualquer material granular, como areia, pedra, seixos ou cascalho. Portanto suas características com resistência à compressão também depende dos agregados, o concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, assim, são

diversos os tipos de concreto utilizados na construção, como concreto armado, concreto protendido, concreto de alto desempenho e vários outros, todos atendem a um requisito (PEDROSO, 2009).

Desse modo, Bastos (2014) ressalta as propriedades particulares do concreto como alta resistência à compressão, durabilidade, estabilidade e custo benefício, quando associadas ao aço que possui ótima resistência a tração, que fazem do concreto armado uma ótima opção de sistema construtivo, além de possibilitar a produção de diversos tipos de estruturas, devido a sua flexibilidade para moldar-se em muitas formas diferentes, o que influencia diretamente no cronograma de gestão da obra.

Segundo Mehta e Monteiro (1997), a classificação do concreto também pode ser feita a partir de critérios de resistência à compressão (F_{ck} aos 28 dias), dividindo-se nas categorias mostradas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Classificação do concreto em relação à sua resistência a compressão.

Tipos de Concreto	Resistência a Compressão (MPa)
Concreto Baixa Resistência	<20
Concreto Resistência Moderada	20<RC<40
Concreto de Alta Resistencia	>40

Fonte: Mehta e Monteiro 1997.

A ABNT NBR 12655(ABNT, 2015) apresenta outras formas de classificação do concreto e terminologias para identificar o concreto: concreto-massa, concreto espumoso, concreto projetado, concreto aerado, concreto prescrito, concreto dosado, etc. Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ABESC) (2007), os concretos comumente utilizados podem ser classificados de acordo com sua aplicação em obra, já que o êxito de uma construção depende da correta definição do tipo de concreto utilizado. Existem vários tipos de classificações para o concreto, de acordo com a norma ABNT NBR 12655(2015), o concreto pode ser classificado em três categorias, conforme sua massa específica no estado endurecido:

Concreto Leve: possui massa específica não menor que 800 Kg/m³, mas não excede 2000 Kg/m³. Constituído de agregados naturais ou processados termicamente que possuem baixa densidade (agregados expandidos de argila, escória, siderúrgica, vermiculita, ardósia, resíduos de esgoto sintetizado e outros).

Concreto Normal: possui massa específica maior do que 2000 Kg/m^3 , mas não excede 2800 Kg/m^3 . Constituído normalmente de areia natural, pedra britada ou seixo rolado.

Concreto Pesado: massa específica maior que 2800 Kg/m^3 . Constituído de agregados de alta densidade, como barita, magnetita, limonita e hematita.

De acordo com Petrucci (1998), a qualidade do concreto está estritamente vinculada à qualidade dos agregados, especialmente pequenos agregados. Os agregados são elementos granulares, de forma indefinida e volumes determinados, de dimensões e características apropriadas para sua utilização em obras de engenharia civil (OLIVEIRA; BRITO, 1998).

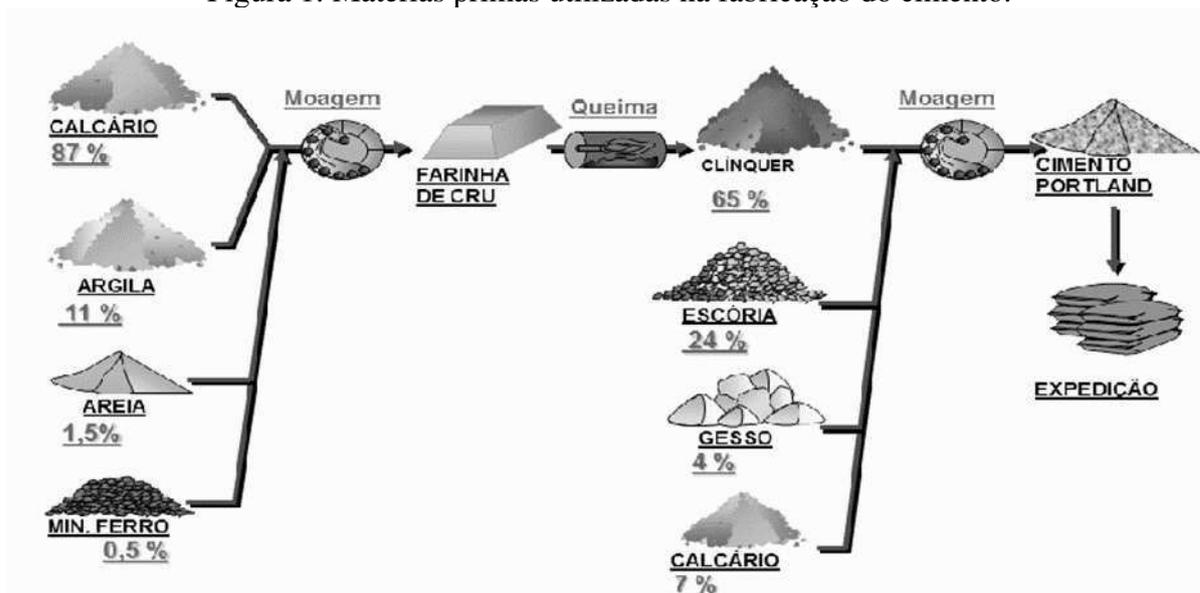
2.1.1 Cimento

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o cimento Portland é considerado como uma mistura homogênea, oriunda por vários compostos, as quais se comportam de forma diferente entre si quando submetidos à adição de água. Dessa forma, os silicatos se hidratam lentamente, ao passo de que os aluminatos se hidratam de forma mais acelerada. Além disso, outra definição para o cimento Portland é que o mesmo é um material de origem mineral, com constituição baseada em silicatos hidráulicos de cálcio, com certa porcentagem de sulfato de cálcio natural, proveniente da moagem e mistura de rochas calcárias.

Em conformidade com Neville (1997), o cimento pode ser denominado como um material possuinte de propriedades coesivas e adesivas, sendo capaz de unir fragmentos e materiais, formando assim, um material todo compacto.

Dessa forma, sabe-se que o cimento é constituído por calcário, argila e minério de ferro, cuja união formam o clínquer. Esse material é moído e adicionado o gesso, como isto diminuindo a velocidade de pega, isto é, a velocidade de hidratação das partículas de cimento (PETRUCII, 1998), assim, como mostrado no esquema da Figura 1.

Figura 1: Matérias primas utilizadas na fabricação do cimento.



Fonte: Holcim (Brasil) S.A. 2004

Os cimentos podem ser classificados como hidráulicos e não hidráulicos. Assim, os cimentos hidráulicos são caracterizados por só endurecerem através da reação com a água, além de formarem um produto resistente à água. Ademais, os não hidráulicos são também denominados de aglomerantes aéreos, resultando da calcinação da gipsita ou carbonatos de cálcio, cujo produto da hidratação não possuem resistência à água. Destarte, o cimento do tipo Portland é encaixado como um cimento hidráulico, pois o mesmo somente adquire propriedades adesivas quando é misturado com a água. Este processo é nomeado como hidratação do cimento, proporcionando características de pega e endurecimento ao mesmo (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

Conforme Foguesatto (2007), a composição do cimento Portland é variante conforme adição de novos compostos, desenvolvendo assim, algumas derivações que venham a agregar ou melhorar algumas das características do mesmo. Dessa maneira, dentre os compostos mais comuns estão a adição de filler calcário, escória de alto-forno e pozolanas.

Bauer (2000) cita a importância do conhecimento das proporções dos compostos constituintes do cimento, onde reside na correlação entre estes e as propriedades finais do cimento e também do concreto. Com isso, Foguesatto (2007) retrata que a principal característica do cimento Portland são propriedades como a finura, sendo a mesma responsável pela velocidade de hidratação do composto, cuja influência é comprovada em muitas qualidades referentes ao concreto. Conforme Bauer (2000), o aumento da finura melhora a resistência,

essencialmente a resistência da primeira idade, diminui a exsudação, bem como outros tipos de segregação, aumenta a impermeabilidade, trabalhabilidade e diminui a expansão em autoclave.

Yazigi (2008) refere-se que as propriedades do cimento Portland são consideradas sobre três âmbitos distintos, sendo a primeira constituindo como a propriedade do material em seu estado natural, ou seja, o pó. A segunda, como a propriedade de mistura do cimento e água em suas proporções adequadas a cada uso e a terceira, como a propriedade de mistura da pasta como o agregado. Na Tabela 2 mostrada abaixo temos a classificação do cimento Portland segundo a norma NBR 16697 (ABNT, 2018).

Tabela 2: Designação normalizada, siglas e classe do cimento Portland.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland Comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC		
	Com adição	CP I-S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E				
	Com material carbonáticos	CP II-F				
	Com material pozolânico	CP II-Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V			ARI	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB			25, 32 ou 40	-
	Não estrutural	CPB			-	

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos a se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos necessários para 53. além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a Cimento Portland que atenda aos requisitos selecionados em 54 afim dos requisitos para seu tipo e dá se originais.

^c As classes 25. 32 40 representam os valores mínimos de resistência à compressão até 28 dias, em megapascals (MPa), método contorno de permanência estável na ABNT NBR / 215.

^d Cimento Portland de alta resistência CPV inicial que representa 1 dia da mesma idade ou 14 MPa quando se trata de água com ABNT NBR 7215 e se estende ao resto dos estabelecimentos Norma estabelecidos para o tipo de cliente ARI

Fonte: NBR 16697 (2018).

2.1.2 Agregado miúdo

De acordo com a norma de agregados para concreto (NBR 7211, 2009) o agregado miúdo possui grãos passantes pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, obedecido os limites estabelecidos na norma citada acima, no ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

Mártires (2009) define a areia como um tipo de recurso mineral granular, com tamanho definido em um intervalo (2 a 0,06 mm), com composição silicática, com predominância do mineral quartzo. Primordialmente, além de compreender os materiais naturais, têm-se a areia artificial, resultante do produto da britagem das rochas.

Dessa forma, sabe-se que a areia natural é constituída essencialmente por quartzo, com fórmula geral SiO_2 , diversamente distribuído na crosta terrestre, com cerca de 12% em volume. Resultante da granulometria e do grau de pureza, as areias possuem empregos específicos, a exemplo de areias mais grossas e com maior potencial de impureza serem utilizadas na construção civil (IERVOLINO, 2012).

A areia é amplamente utilizada como agregado miúdo na construção civil, sendo empregada na confecção de argamassas e concretos, é um material de baixo custo quando comparado a outros materiais constituintes como o cimento, amplamente encontrado na natureza. Ademais, a NBR 7211 (ABNT, 1983) retrata areia como resultante do britamento de rochas estáveis ou de origem natural, ou mesmo de ambas, onde seus grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidas na peneira ABNT de 0,075 mm, conforme explicita a Tabela 3.

Tabela 3: Classificação do agregado miúdo quanto à dimensão.

Tipo de areia	Tamanho Nominal (mm)	
	Mínima	Máxima
Fina	0,15	0,6
Média	0,6	2,4
Grossa	2,4	4,75

Fonte: Bauer, 2008.

2.1.3 Agregado graúdo

A definição de agregado graúdo dada pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009) “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm.” Onde são geralmente empregados em materiais como concretos, associado com agregado miúdo e ligante na presença de água, a disposição dos dois tipos de agregados afeta na resistência do material, os agregados possuem função de preenchimento da mistura.

Assim, pode-se afirmar que a pedra britada é caracterizada como um agregado de origem artificial, de tamanho graúdo. Assim, é oriunda de fontes pedreiras, cujas mesmas exploram rochas cristalinas com solos pouco espessos de cobertura, sem muita alteração do estado físico, cuja prioridade é aquela contendo quartzo – feldspáticas. Em contrapartida, ocasionalmente, rochas como o basalto e calcários microcristalinos, também são explorados para esta mesma finalidade (IERVOLINO, 2012).

Yazigi (2008) caracteriza a brita, por fins comerciais, em pedrisco (diâmetro de 4,80 mm a 9,50 mm), brita 1 (diâmetro de 9,50 mm a 19,00 mm), brita 2 (diâmetro de 19,00 mm a 38,00 mm), brita 3 (diâmetro de 38,00 mm a 76,00 mm) e pedra de mão ou rachão (diâmetros maiores que 76,00 mm). A Tabela 4, apresenta a classificação dos agregados graúdos conforme explicitada NBR-7211 (ABNT, 2009) e na NBR-7225 (ABNT, 1982) e a classificação comercial empregada pelas pedreiras.

Tabela 4: Classificação do agregado graúdo quanto à dimensão.

Pedra britada numerada	NBR-7211/NBR-7225		Comercial	
	Tamanho Nominal			
	Malha da peneira (mm)			
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Brita 0	-	-	4,8	9,5
Brita 1	4,8	12,5	9,5	19
Brita 2	12,5	25	19	38
Brita 3	25	50	38	50
Brita 4	50	76	50	76
Brita 5	76	100		
Obs.: Para efeito de dosagem pode-se utilizar o $d_{máx} = 25$ mm para uma mistura de brita 1 + brita 2.			>76 mm considera pedra de mão	

A pedra britada é a mais utilizada para a confecção do concreto. Desse modo, a escolha da dimensão do agregado graúdo é decorrente da dimensão da peça a ser concretada, assim como da densidade de armadura da seção transversal (RODRIGUES, 2012).

Para classificar os resíduos foi utilizado a norma NBR 7211 (ABNT, 2009), que determina a distribuição granulométrica dos agregados que deve atender aos limites indicados para o agregado graúdo como exibido na Tabela 5.

Tabela 5: Limites da composição Granulométrica do agregado Graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR MN ISSO 3310-1)	Porcentagem em massa, retida acumulada				
	Zona Granulométrica d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	–	–	–	–	0 - 5
62 mm	–	–	–	–	5–30
50 mm	–	–	–	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	–	–	–	5–30	90 - 100
31,5 mm	–	–	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	–	0 - 5	5 - 25 ^b	87 - 100	–
19 mm	–	2 - 15 ^b	65 - 95	95 - 100	–
12,5 mm	0 - 5	40 - 65	92 - 100	–	–
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 - 100	95 - 100	–	–
6,3 mm	40 - 65	92 - 100	–	–	–
4,75 mm	80 - 100	95 - 100	–	–	–
2,36 mm	95 - 100	–	–	–	–
^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.					
^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos Limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários limites.					

Fonte: NBR 7211(ABNT, 2009).

A NBR NM 53(ABNT, 2009) estabelece o método de determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água dos agregados graúdos, na condição saturados superfície seca, destinados ao uso em concreto.

2.2 Propriedades do concreto no estado fresco e endurecido

As propriedades do concreto em seu estado fresco, como a trabalhabilidade, são muito afetadas por meio de diversos fatores, como a relação água/cimento (a/c), as características dos materiais constituintes do concreto, especialmente o agregado, ou seja, tipo de agregado,

tamanho máximo do agregado e absorção de água. A trabalhabilidade do concreto também é afetada por outros parâmetros físicos do agregado, como textura da superfície, tamanho do agregado e forma de agregado (BEHERA *et al.*, 2014). Os principais aspectos que afetam a trabalhabilidade são os fatores internos como granulometria do concreto, consistência, e aditivos, desse modo, os fatores externos de modo que a mistura, transporte, lançamento e adensamento (GIAMUSSO, 1992).

De acordo Souza (2007), o concreto no estado fresco possui propriedades como trabalhabilidade, consistência, coesão e a exsudação. Para muitos autores a trabalhabilidade condensa as demais propriedades e é considerada como parâmetro que melhor demonstra as características do concreto.

A trabalhabilidade é descrita pela ASTM- Sociedade Americana de Testes e Materiais como o esforço necessário para dosar a quantidade de concreto fresco com uma variação mínima de homogeneidade (MEHTA, MONTEIRO, 1994). A propriedade mais importante para que um concreto seja bem adensado é a trabalhabilidade, essa característica varia de acordo com a utilização do concreto, se adequando a forma de aplicação como o lançamento e o adensamento.

Na produção do concreto, transporte, lançamento e adensamento são aplicados na obra, se faz fundamental que a trabalhabilidade do concreto fresco esteja dentro dos limites aceitáveis, para evitar segregação, bem como obter um bom adensamento. Na fabricação manual ou mecanizada, no transporte em carro de mão ou bomba, um lançamento com pás ou calhas, um adensamento manual ou vibratório exige trabalhabilidades diferentes. Essas condições variam constantemente, por isso é essencial o conhecimento para determinação dos parâmetros adequados (BAUER, 2008).

Também pode-se destacar que segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2014) que determina a resistência característica do concreto à compressão - *Feature Compression Know* (f_{ck}) em função da classe de agressividade a ser adotado para concreto armado. No caso menos agressivo (classe de agressividade I), exige o valor mínimo de 20MPa podendo chegar ao mínimo de 40MPa, para agressividade IV.

2.3 Resíduo da Construção e Demolição

O RCD consiste principalmente em resíduos de bloco de concreto, argamassa, tijolo vermelho, telha de argila e sujeira, a maioria dos quais pode ser reciclada após a separação, trituração e peneiramento. Os resíduos de blocos de concreto, ou seja, brita e argamassa colada,

podem ser utilizados de forma eficiente como agregados graúdos reciclados para a produção de concreto e cascalho estabilizado com cimento, substituindo parte dos agregados graúdos naturais (CARNEIRO *et al.*, 2014).

Conforme o Ministério das Cidades, no Brasil, a construção civil contribui com 51 a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos, sobrecarregando os sistemas de limpeza pública que lidam com os RCDs que são descartados em áreas públicas indevidamente pelos geradores.

Desse modo, a Resolução CONAMA n° 307/2002 determina as políticas nacionais desenvolvidas para gerenciar os resíduos sólidos, na qual os resíduos gerados pela construção civil são classificados em quatro diferentes classes:

Classe A – resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados (por exemplo, tijolo, concreto, etc.);

Classe B – resíduos reutilizáveis ou recicláveis para outras indústrias (por exemplo, plástico, papel, gesso, etc.);

Classe C – resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias viáveis que permitam sua reciclagem;

Classe D – resíduos perigosos (por exemplo, tintas, solventes, etc.), ou contaminados (por exemplo, provenientes de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros).

Ainda de acordo com a Resolução do CONAMA n° 307/2002, Art. 3° os resíduos são classificados por meio de um sistema de classes como citado acima, pertencendo a classe A os resíduos reutilizáveis ou recicláveis para serem usados como agregado para concreto, o Art. 4° implementa que os agregados tem como principal objetivo não gerar resíduos secundários, afim da redução e da reutilização dos matérias com máxima eficácia.

Por isso os agregados provenientes do resíduo de concreto (RCD) tem sua principal aplicação na substituição dos agregados no concreto, porém no Brasil não se faz grande utilização desse material, devido principalmente a indústria da construção civil que ainda tem dúvidas sobre o desempenho e a durabilidade dos resíduos, principalmente em relação a parte estrutural, em relação as agregados naturais (ISMAIL, 2014).

Corroborando com a Resolução CONAMA n° 307, Art. 2°, Inciso I, publicada no ano de 2002, conclui-se que resíduo da construção civil como tais matérias oriundos da construção, reformas, reparos e demolição de obras da construção civil, bem como obras de terraplanagem e escavação de terrenos, desta forma estes que são destacados nesta resolução, se os mesmos não receberem uma destinação correta colaboram diretamente no acúmulo de entulho e por sua vez na poluição.

No Brasil, os dados da Abrelpe apontam que em 2018 foram coletadas 122 toneladas de RCD por dia, pelos serviços de limpeza municipais, tendo uma pequena diminuição em relação ao ano anterior com cerca de 0,98%, abaixo na Tabela 6. Pode-se constatar os valores coletados e os valores per capita (ABRELPE, 2019). A geração de resíduos da construção civil representa um grande problema ambiental, demandando um melhor gerenciamento desses resíduos e buscando uma destinação mais sustentável.

Tabela 6: Quantidade total de RCD coletados pelos municípios no Brasil

2017		2018	
Total (toneladas/dia)	Per capita (kg/habitante/dia)	Total (toneladas/dia)	Per capita (kg/habitante/dia)
123.421	0,594	122.012	0,585

Fonte: Abrelpe 2018

Os agregados reciclados apresentam porosidade elevada e menor densidade, assim como a argila expandida. Porém, os agregados reciclados são mais heterogêneos (o que dificulta a uniformidade de suas propriedades) e menos resistentes. Além disso, esses agregados possuem teores de finos e/ou materiais pulverulentos mais elevados, e formato mais irregular ou textura superficial mais rugosa (GOMES, 2015).

Embora o uso de RCD como agregado reciclado em substituição ao agregado natural tenha se mostrado uma boa solução para minimizar o consumo de recursos naturais (RAO; MISRA, 2007; LIMA *et al*, 2010), o comportamento estrutural do concreto RCD ainda não é totalmente compreendido e seu uso em aplicações estruturais é limitado pelas normas europeias (DIN 4226-100) e não autorizado pela norma brasileira.

Em relação à utilização dos resíduos do concreto na produção de um novo concreto, é preciso fazer a substituição da parte dos agregados naturais graúdos, pelos resíduos grossos, segundo Evangelista e Brito (2014) a incorporação do RCD não prejudica significativamente as características do concreto. Porém, não há consenso quanto à substituição dos agregados finos. O principal fator apontado por alguns pesquisadores contra o uso de agregados reciclados no concreto é a sua elevada absorção de água, o que pode levar o concreto a ter baixo desempenho na sua resistência.

Segundo Nogueira (2013), o concreto com agregados reciclados, mesmo não atingindo altas resistências para o traço de um concreto convencional, atinge valores suficientemente aceitáveis, podendo ser utilizado até mesmo como concreto estrutural.

2.4 Caulim

O Brasil é o quinto maior produtor de caulim segundo o IBRAM (2018), produzindo cerca de 2,05 milhões de toneladas em 2017, sabemos que quatro países detém cerca de 95% de toda a reserva de caulim no planeta, que é avaliada em 15 bilhões de toneladas, que estão destruídas entre, EUA 53%, Brasil 28%, Ucrânia 7% e Índia 7%, as jazidas brasileiras de caulim apresentam cerca de 4,2 bilhões de toneladas. No ano de 2018 foram exportadas mais de 1,8 milhões de toneladas. O Brasil possui a segunda maior reserva de caulim do planeta, sendo que no estado do Pará no norte do país este mineral está entre os seis mais explorados, que tem principal destino os países como Bélgica, Finlândia, Estados Unidos e Itália (IBRAM, 2016).

A palavra caulim advém do termo chinês kauling, que significa cume alto. É usado para denominar a rocha que tem a caulinita e o material resultante de seu beneficiamento (CABRAL, LEITE FILHO, ARAÚJO, 2009). O caulim é composto principalmente por dois tipos silicatos hidratados de alumínio, a caulinita e a haloisita. Além desses, são comuns na composição do caulim os minerais do grupo da caulinita, como a diquita e a nacrita entre outros (SILVA, 2001).

O caulim tem diversas aplicações industriais e novas utilizações são constantemente pesquisadas e desenvolvidas. É um mineral industrial com características especiais por ser quimicamente inerte em uma ampla faixa de pH, é branco, tem excelente poder de cobertura quando usado como pigmento ou extensor em revestimentos e aplicações de enchimento, é macio e possui baixa abrasividade, baixa condutividade térmica e elétrica e seu custo é inferior ao da maioria dos materiais proponentes (MÁRTIRES, 2009).

Este minério argiloso branco, que não possui propriedades reativas, tóxicas ou inflamáveis é principalmente utilizado na indústria de papel. Ele também é utilizado na fabricação de porcelanas, lápis de cor, pneus e tintas.

Conforme citado por Almeida (2016) pesquisas e estudos a fim de diminuir a geração de resíduos no processamento do caulim e sua consequente reutilização nas mais distintas áreas são cruciais para minimizar os impactos negativos causados ao meio ambiente, além disso, o produto propriamente dito e seus subprodutos ganham reconhecimento econômico satisfatório. A reciclagem de resíduos é uma possibilidade econômica e ecologicamente viável, que tem uma destinação definitiva desses materiais tanto para a construção civil, quanto para a indústria de mineração (SANTOS *et. al.*, 2012).

2.5 Estado da arte

Edifícios construídos com concreto reciclado estão presentes em países como a Alemanha, outro exemplo, na Suíça existem muitos edifícios construídos dessa forma. O prédio da escola "*Im Birch*" mostrado na Figura 2, construído em 2004, onde os componentes estruturais de concreto utilizados são de aproximadamente 50% de concreto reciclado contendo resíduos de concreto e concreto feito de agregado RCD (STADT ZÜRICH, 2017).

Figura 2: Prédio da escola "*Im Birch*".



Fonte: Architectural Grammar, 2010.

Outro exemplo é o *Campus Norte* da Universidade Humboldt, em Berlim, fundada em 1809, possui um prédio que incorpora a tecnologia avançada e inovadora, o novo laboratório de pesquisa do prédio de Ciências da Vida, foi construído quase totalmente com um concreto pré-misturado CEMEX (2015) feito com agregados de concreto reciclado como mostrado na Figura 3.

Figura 3: Projeto do *Campus Norte* da Universidade Humboldt



Fonte: CEMEX, 2015.

Os resíduos da construção civil no Distrito Federal em sua grande maioria são reciclados, segundo a Agência Brasília (2019). Os materiais são descartados e encaminhados para a Unidade de Coleta de Resíduos (UCR) nesse ambiente o material é triturado, peneirado e doado a órgãos de gestão direta e indireta para utilização no projeto na cidade. Foi criada uma portaria normativa que formalizou a ação, estando em fase de teste desde de março de 2019.

Já em relação às propriedades do concreto com substituição de RCD, foi relatado que a quantidade de agregados reciclados influencia várias propriedades desse tipo de concreto (GONZÁLEZ-FONTEBOA, 2011). Em particular, foi relatado que sob cargas de compressão o concreto CDW apresentou um aumento na deformação em comparação com as misturas de agregados naturais (XIAO; ZHANG, 2005).

As demandas ambientais, referentes a conservação de recursos naturais e proteção ambiental, tem impulsionado estudos relacionados a melhor gestão dos recursos, redução de produção de resíduos, nesse cenário o RCD se mostra com grande potencial para aproveitamento na reciclagem (ZHANG *et al*, 2018).

Especificamente, após a separação e britagem, o RCD pode ser usado como agregados na produção de concreto ou material de enchimento em aterros. A reciclagem de resíduo além contribuir para a menor geração de resíduos, muitas vezes dispostos de forma indevida no meio ambiente, também contribui para a conservação de recursos naturais limitados (ZHANG *et al*, 2018).

De acordo com Gomes e Brito (2009) que analisaram o desempenho de dois tipos de concreto: com resíduo grosso da construção somente do concreto (substituição total) e com RDC graúdo do concreto e materiais cerâmicos (até 75% de substituição). Nenhuma dessas composições se mostrou com uma perda significativa na resistência à compressão. No entanto, as misturas com cerâmica contendo agregado reciclado exibiram uma tendência a diminuir a resistência à medida que a taxa de substituição aumentava.

De acordo com Bravo *et al* (2015) as misturas com materiais oriundos de RCD apresentaram perdas na resistência à compressão, entre 18% e 39%, essas perdas devem-se aos seguintes fatores; menor resistência mecânica do resíduo, maior absorção de água desses materiais, aumento das áreas frágeis dentro do concreto (zona de transição interfacial entre a pasta de cimento), os agregados naturais e também agregados reciclados.

Poon *et al* (2004) avaliou a microestrutura do concreto produzido com agregado reciclado (AR) a partir do concreto convencional, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e comparou com a microestrutura do concreto convencional. Eles descobriram que a zona de transição interfacial entre o AR do concreto e a pasta de cimento

tinha uma alta porosidade. Os autores referem que a elevada porosidade e absorção de água destes agregados, juntamente com o seu baixo teor de água inicial durante o processo de mistura dos constituintes, podem ter produzido significativa absorção de água na fase inicial da mistura. Consequentemente, este processo pode ter causado a alta porosidade relatada na pasta de cimento.

Sendo assim, a reciclagem de materiais no setor da construção pode contribuir para a redução da extração de minerais brutos e a conservação dos recursos naturais, tornando-se uma alternativa mais sustentável, sendo cada vez mais difundido e polarizado no setor.

Por outro lado, os estudos realizados por Azeredo e Diniz (2013) utilizaram resíduos industriais oriundos da mineração do caulim, localizada em Juazeirinho, na Paraíba, Brasil, onde a empresa produz o caulim para ser usado nas indústrias de papéis e materiais cerâmicos. Os resíduos de caulim foram divididos em duas categorias, uma mais fino e outra mais grosso, e são rejeitos produzidos durante o beneficiamento do caulim puro e descartados no ambiente natural.

Dessa forma, o caulim é uma importante matéria-prima em diversos setores industriais. Cada tonelada de caulim produzia normalmente até 9 toneladas de resíduos. Existem várias fontes de caulim em todo o mundo e vários depósitos existem no Canadá; na Nova Escócia (WILSON, 2003) desse modo, pode-se ver as dimensões da produção do resíduo de caulim no mundo.

De acordo com os estudos realizados por Almeida (2017) traço com 30% de resíduo de caulim em diferentes relações a/c apresentaram uma baixa na resistência quando comparado com ensaios do concreto convencionais. Ainda segundo Almeida (2017) os traços que tiveram adição de água para melhorar trabalhabilidade mostrou resistência similar ao traço padrão atual, próximo a 20 MPa. O slump test foi de 12 cm de abatimento, diferente dos 9 cm do anterior, isso indica que a água ajudou na melhor fluidez, mas não alterou o valor de resistência, ao que tudo indica que ainda.

Corroborando com os ensaios de resistência a compressão simples feitos por Barbosa *et al* (2016), no qual observou-se os baixos valores obtidos com o aumento da concentração do resíduo. Os corpos de prova que tinha o resíduo de caulim, apresentaram resistência a compressão cerca de duas vezes maior do que a resistência na concentração do resíduo de caulim, para as amostras com 75% de resíduo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para o referido estudo, foram utilizados os seguintes materiais:

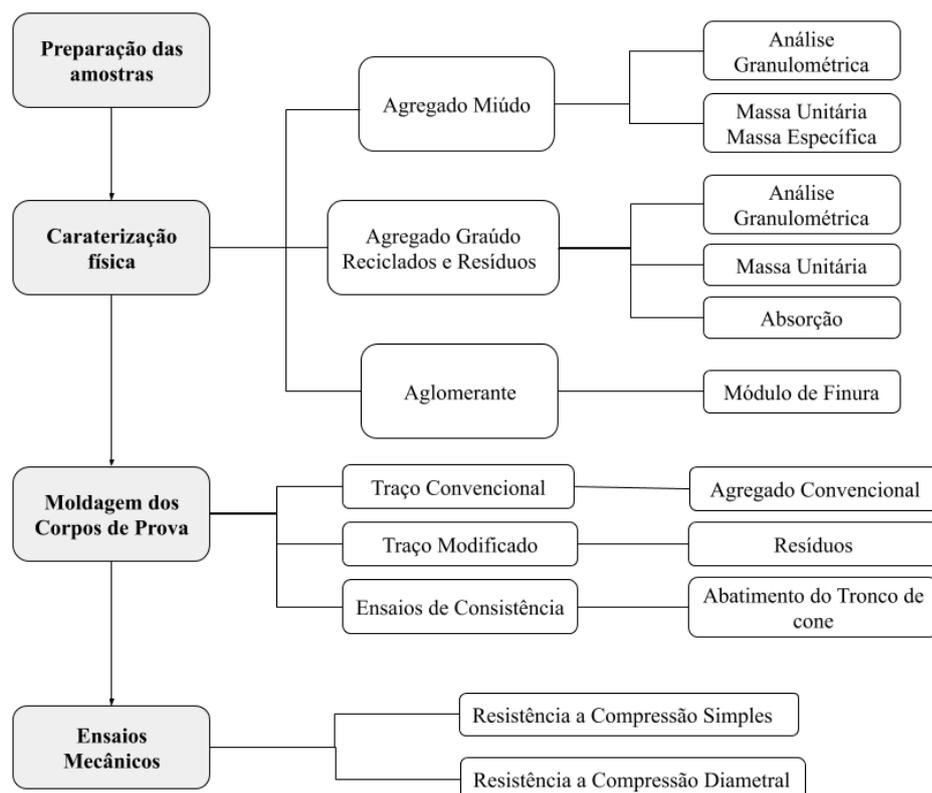
- Agregado Miúdo: areia lavada, do tipo fina/média, normalmente utilizada na região do município de Pombal;
- Agregado Graúdo: brita 1, diâmetro máximo 19 mm, brita 0, diâmetro máximo 9,5 mm frequentemente utilizada nas construções da região do município de Pombal – PB;
- Agregado Graúdo - RCD: Resíduo de concreto formado principalmente por argamassa de cimento proveniente do município de Pombal – PB;
- Agregado Graúdo – RCG: Resíduo de caulim grosso proveniente da mineração da região do Junco do Seridó – PB.
- Água: proveniente da rede de abastecimento do município;
- Cimento Portland CP II Z 32.

3.2 Métodos

Esta pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Campina Grande - *Campus* Pombal, no Laboratório de Resíduos Sólidos, onde também se realizaram os ensaios.

Em seguida, foi definida a dosagem dos traços dos concretos em estudo e do concreto convencional. Sucessivamente, foi efetuada a moldagem dos corpos de prova para realização dos ensaios de compressão simples e tração. Os corpos de prova foram moldados segundo a norma NBR 5738 (2016). Na Figura 4 é apresentado o fluxograma das etapas realizadas no presente estudo.

Figura 4: Fluxograma das atividades.



Fonte: Autor, 2020.

Os ensaios descritos acima, bem como os de caracterização foram realizados conforme as normas especificadas na Tabela 7.

Tabela 7: Normas utilizadas.

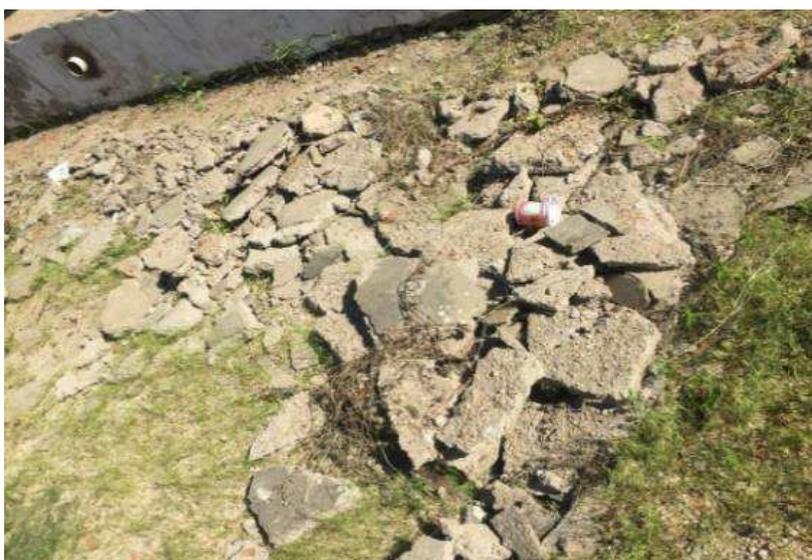
Tabela de Ensaio		
Ensaio/ Procedimentos	Norma	Título
Granulometria	NBR NM 248:2003	Agregados - Determinação da composição granulométrica
Massa unitária	NBR NM 45:2006	Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.
Massa específica Agregado miúdo	NBR NM 52:2009	Agregado miúdo–Determinação da massa específica e massa específica aparente
Massa específica Agregado graúdo	NBR NM 53:2009	Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.
Modulo de finura	NBR 11579:2013	Cimento Portland–Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)
<i>Slump Test</i>	NBR NM 67:1998	Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone
Moldagem	NBR 5738:2016	Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova
Compressão simples	NBR 5739:2007	Ensaio de compressão de corpos-de-prova
Tração por compressão diametral	NBR 7222:2011	Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos

Fonte: Autor, 2020.

3.2.1 Preparação do resíduo de RCD

Primeiramente foi realizado um levantamento visual na cidade de Pombal-PB, com o intuito de ver quais os tipos de resíduos de construção e demolição existente. constatou-se que os dois principais tipos de RCDs encontrados foram os provenientes de matérias cerâmicos e de argamassas, optou-se por trabalhar com o material de argamassas por serem mais facilmente encontrados. Na Figura 5 observa-se o RCD de argamassa.

Figura 5: Resíduo encontrado na obra.



Fonte: Autor, 2020.

Foram coletados cerca de 40 kg de resíduo e transportados para a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – *Campus* Pombal, para serem devidamente preparados. os mesmos estavam misturados com outros tipos de resíduos da construção e demolição compostos em sua maioria por resíduos cerâmicos, de argamassa, concreto, gesso, plásticos, entre outros.

Realizou-se a classificação de forma preliminar visualizando a amostra do material coletado, composto por um aglomerante cimentício e agregado miúdo, características dos resíduos de argamassa. Foi utilizado apenas um tipo de RCD com a finalidade de obter amostras seguras e precisas.

O material foi exposto seco ao sol a fim de eliminar qualquer excesso de umidade, em seguida foi triturado em um britador elétrico, regulado para tamanho aproximado das partículas compatíveis com a granulometria da brita 1, conforme a Figura 6.

Figura 6: Britador de mandíbula elétrico usado para triturar o material bruto.



Fonte: Autor, 2020.

Após a britagem do agregado de RCD (Figura 7) foram classificadas as características físicas por meio ensaio de peneiramento, segundo a NBR NM 248(ABNT, 2003).

Figura 7: RCD britado.



Fonte: Autor, 2020.

3.2.2 Preparação do resíduo RCG

O resíduo de caulim utilizado neste trabalho foi coletado junto a uma empresa de mineração localizada na zona rural do município de Junco do Seridó – PB. A Figura 8 mostra o material coletado sendo transportado.

Figura 8: Coleta do resíduo de caulim no município de Junco do Seridó – PB.



Fonte: Autor, 2020.

Após a coleta, o material foi exposto ao sol a fim de eliminar qualquer excesso de umidade do agregado graúdo. Na Figura 9 pode-se observar a amostra do resíduo grosso oriundo do beneficiamento de caulim. Assim, esse material bruto foi peneirado na malha 4,75mm com a finalidade retirar as partículas menores que não se enquadrando como brita 0.

Figura 9: Amostra do resíduo grosso oriundo do beneficiamento de caulim



Fonte: Autor, 2020.

3.2.3 Caracterização física

Inicialmente foram recolhidas amostras dos agregados, para o ensaio de granulometria, a fim de classificar a distribuição dos grãos segundo a norma NBR 248(ABNT, 2003), em seguida, realizou-se os ensaios de massa específica (NBR NM 52, ABNT, 2009) e massa unitária pela norma NBR 45 (ABNT, 2006), bem como a absorção dos resíduos, os ensaios foram realizados de acordo com as normas brasileiras. Para o aglomerante foi realizado o ensaio

de módulo de finura de acordo com a norma NBR 11579 (ABNT, 2013). Em seguida, após coletar os materiais, realizou-se a análise granulométrica dos resíduos de RCG e RCD, assim como do agregado natural, com a finalidade de identificar o tamanho dos grãos que os compõem. A partir disso a caracterização física foi realizada com o intuito de determinar as propriedades dos materiais que compõem o traço, por meio dos ensaios de peneiramento, massas unitárias e específicas. Para o aglomerante determinou-se a finura.

3.2.3.1 Análise granulométrica

A granulometria consiste em determinar a quantidade de cada fração de grãos em função do seu diâmetro, presente no material, visando conhecer melhor as propriedades dos materiais em virtude da grande influência no produto final (IERVOLINO, 2012). O procedimento foi realizado de acordo com a ABNT NM 248 (ABNT, 2003).

Pesou-se 500g do material em seguida, foi peneirado com auxílio de um agitador mecânico. A série de peneiras utilizadas foi a normal de aberturas 37,5 mm; 19 mm; 4,75 mm; 2,40 mm; 1,20 mm; 0,60 mm; 0,30 mm e 0,15 mm. Pesou-se a massa de material retido em cada peneira. Repetiu este procedimento duas vezes para fazer a média e obter maior confiabilidade dos dados. O ensaio foi realizado com a areia, brita 0, brita 1, RCD e RCG.

Figura 10: Disposição das peneiras no agitador mecânico.



Fonte: Autor, 2020.

3.2.3.2 Massa unitária, massa específica e finura

A determinação da massa unitária dos materiais foi realizada segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Utilizando-se um recipiente com volume conhecido, pesou-se três amostras dos materiais e fez-se a média dos valores encontradas, subtraindo-se a massa do recipiente. A massa unitária foi obtida pela divisão da média das massas pelo volume do recipiente.

Diante disso, a massa específica da areia e dos resíduos foi obtida segundo a ABNT NBR NM 52/09 e a finura do cimento foi determinada de acordo com a ABNT NBR 11579 (2013).

Desse modo, o índice de finura do cimento Portland, descrita pela NBR 11579 (ABNT, 2013) foi determinado utilizando a peneira 75 μm (nº 200), de modo que é a porcentagem em massa de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 75 μm (fração retida na peneira nº200).

O índice de finura foi determinado pela seguinte equação:

$$F(\%) = \frac{R}{M} * 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde R é o resíduo do cimento na peneira 75 μm , em grama (g), e M é a massa inicial do cimento, em g.

3.2.3.3 Absorção de água

O ensaio de absorção de água do agregado graúdo foi realizado por imersão onde os agregados ficaram por 24 horas submersos, após essa etapa foram pesados, em seguida levou-se para a estufa (105 a 110 °C) permanecendo por 24 horas, sendo pesados novamente, de acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Após esse tempo, a amostra foi retirada da água, envolvida com um pano absorvente até eliminar a água visível na superfície e imediatamente pesada massa saturada (m_s). Posteriormente o agregado foi seco em estufa para retirada da água e realizada a pesagem para obtenção da massa seca (m). Assim, absorção de água do agregado graúdo foi calculada segundo a equação 2.

$$A(\%) = \frac{m_s}{m} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

3.4 Definições dos traços

Os traços foram obtidos a partir dos dados de agregados seguindo o método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com o intuito de atingir a resistência mínima de 20 MPa, após 28 dias de cura, que é a resistência mínima exigida pela norma NBR 6118 para fins estruturais.

Os traços com os agregados foram produzidos a partir da substituição de parte do agregado gráudo, baseando-se nas bibliografias que fixam as substituições parciais dos resíduos incorporados ao concreto (GOMES, 2015).

Além das três composições para análise comparativa, foram moldados corpos de prova de concreto convencional de mesmo traço a fim de servir como referência. A partir do traço convencional foram calculadas as composições com substituição parcial do agregado gráudo. Foram baseadas no referencial bibliográfico em três proporções: 15%, 30% e 50% (Tabela 8). Após iniciou-se o processo de moldagem dos corpos de prova.

Tabela 8: Nomenclatura dos teores de substituição dos traços

Convencional	RCD	RCG
Conv. Brita 1 Conv. Brita 0	RCD _{15%}	RCG _{15%}
	RCD _{30%}	RCG _{30%}
	RCD _{50%}	RCG _{50%}

Fonte: Autor, 2020.

3.4.1 Moldagens dos corpos de prova

Depois de realizar a devida caracterização dos agregados e do aglomerante iniciou-se o processo de moldagens dos corpos de prova (CPs). Foram utilizados moldes metálicos de formato cilíndricos de diâmetro 100 mm por 200 mm de altura. Na Figura 11 são apresentados os moldes dos corpos de prova.

Figura 11: Moldes metálicos



Fonte: Autor, 2020.

Para mistura do traço foi utilizado uma betoneira Moto Mil de 120 litros, como ilustrado na Figura 12. O concreto foi misturado na seguinte sequência: iniciou-se colocando o agregado

graúdo, seguido pelo agregado miúdo e metade da água, ficou misturando por 1 minuto, depois adicionou o cimento e o restante da água, misturando a o concreto por mais 3 minutos, assim, logo após do desligamento retirou-se o concreto fresco para realizar o *Slump test* (Figura 13).

Figura 12: Betoneira utilizada na moldagem.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 13: *Slup test* usado para o ensaio de consistência.



Fonte: Autor, 2020.

Foi realizado o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone (*slump test*), para verificar a trabalhabilidade requerida para a qual o concreto foi dimensionado.

O processo foi realizado em três camadas, sendo cada uma adensada com 25 golpes com a haste padrão. Esse método foi utilizado para todas as composições de traço e para o convencional conforme a norma NBR 5738 (2003). Após 24h da moldagem, os corpos de prova foram desmoldados como mostrado na Figura 14.

Figura 14: Desmoldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor, 2020.

A cura dos corpos de prova foi feita por cura submersa no tanque a céu aberto mostrado na Figura 15. Após a cura, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e tração por compressão diametral os corpos de prova foram rompidos, sendo submetidos as idades de 7, 14 e 28 dias.

Figura 15: Tanque utilizado para cura dos copos de prova.



Fonte: Autor, 2020.

3.6 Ensaio mecânicos

Após a cura dos corpos de prova, foram realizados os ensaios mecânicos de resistência à compressão simples e diametral.

3.6.1 Resistência à compressão simples

Para a verificação da resistência à compressão simples, os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica manual SHIMADZU AG-IS com célula de 100 KN, de acordo com a ABNT NBR 5739 (ABNT, 2018). A Figura 16 apresenta a prensa utilizada na execução do ensaio, para determinar a resistência de cada corpo de prova. Para realizar os cálculos de resistência se fez necessário aferir as medidas de altura e diâmetro médio, bem como o valor da carga máxima suportada, com essas informações foi possível calcular a resistência usando a relação entre a força aplicada e a área da seção do corpo de prova, assim a resistência do concreto em MPa (Equação 3).

$$f_c = \frac{4F}{\pi x D^2} \quad \text{Eq. (3)}$$

Fonte: NBR 5739, (ABNT,2007).

- f_c a resistência à compressão, expressa em mega pascal (MPa);
F é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);
D é o diâmetro do corpo de prova. Expresso em milímetros (mm).

Figura 16: Prensa hidráulica utilizada no ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Autor, 2020.

3.6.2 Resistência à compressão diametral

Para determinação da resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos, os mesmos foram rompidos na prensa hidráulica manual citada anteriormente de acordo com a norma NBR 7222 (ABNT, 2011), este ensaio pode ser observado na Figura 17, sendo necessário a utilização de uma chapa metálica que tem por finalidade distribuir a força uniformemente em toda a superfície lateral do corpo de prova.

Figura 17: Prensa hidráulica utilizada no ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Autor, 2020.

A carga foi aplicada continuamente e sem choques, com crescimento constante da tensão de tração (expressa pela expressão de 6.1), a uma velocidade de $(0,05 \pm 0,02)$ MPa / s até a ruptura do corpo de prova. O cálculo da resistência à tração por compressão diametral é expresso pela Equação 4.

$$f_{ct, sp} = \frac{2F}{\pi dl} \quad \text{Eq. (4)}$$

$f_{ct, sp}$ é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos obtidos, em mega pascal (MPa);

F é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N);

d é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

l é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

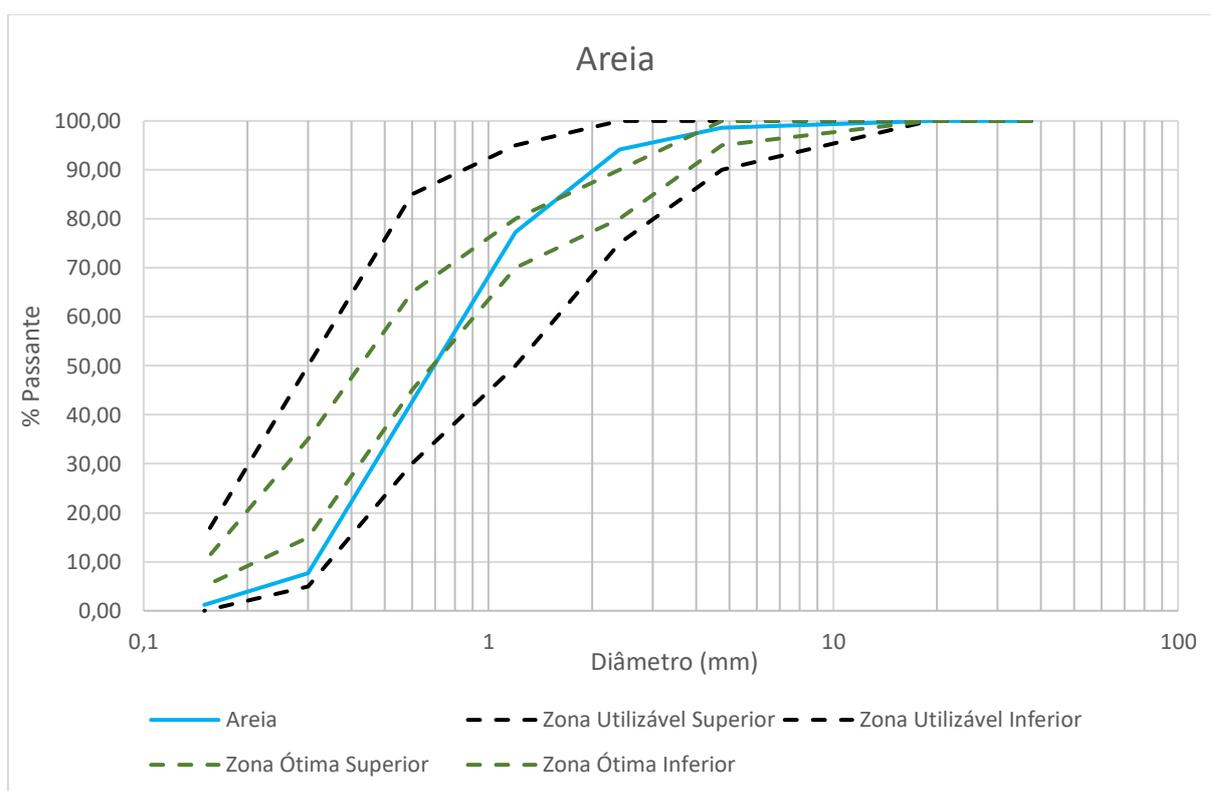
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física dos materiais

4.1.1 Agregado miúdo

O Gráfico 1 apresenta distribuição granulométrica do agregado miúdo, podendo-se constatar que no intervalo da abertura de diâmetro 1,2 – 0,3 mm encontra-se a maior percentagem da areia, com dimensão máxima de 4,75 mm, sendo classificada como areia de granulometria média de acordo com a NBR 7211/2009.

Gráfico 1: Curva granulométrica da areia.



Fonte: Autor, 2020.

A partir do Gráfico 1 mostrado acima podemos afirmar que a curva granulométrica da areia está dentro os padrões utilizáveis, ficando bem próximas das zonas ótimas. identificou-se os diâmetros mais representativos apresentados na Tabela 9, na qual o diâmetro efetivo representado pelo $D_{10} = 0,22$ mm. Inseridos na faixa granulométrica, corresponde a areia fina (0,15 mm a 0,6 mm), partindo do valor de coeficiente de uniformidade - $CU < 5$ é capaz de classificar a areia fina como uniforme o que benéfico para as propriedades do concreto (BAUER, 2008).

Tabela 9: Diâmetros representativos.

Parâmetro	Areia (mm)
D ₁₀	0,22
D ₃₀	0,49
D ₆₀	0,8
CC	1,2
CU	3,6

Fonte: Autor, 2020.

O módulo de finura da areia exibido na Tabela 10 é de 2,7%, sendo o valor de referência contido na norma para areia fina/media variando de 2,2 a 2,9%. Assim a areia utilizada está dentro dos parâmetros exigidos. O módulo de finura interfere diretamente na coesão: quanto menor o módulo de finura, melhor é a coesão. Além de diminuir a permeabilidade e aumentar a resistência, tendo reflexo também em melhorias na trabalhabilidade do concreto, devido a uma menor exsudação.

A massa unitária encontrada foi de 1,41 g/cm³. Implica dizer que os grãos deixando menos espaços vazios, proporcionando um concreto mais denso.

Tabela 10: Caracterização do agregado miúdo.

Agregado	Módulo de finura (%)	Massa unitária (g/cm ³)
Areia	2,7	1,41

Fonte: Autor, 2020.

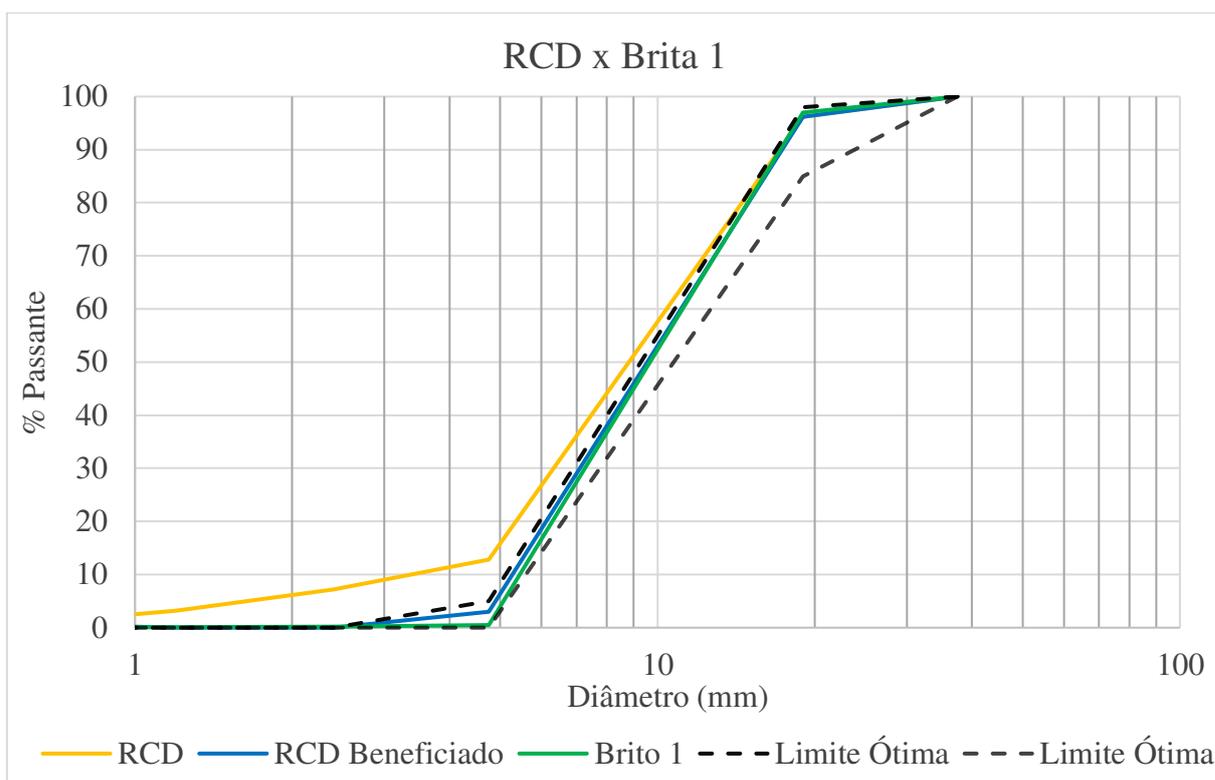
4.1.2 Agregados graúdos

4.1.2.1 RCD x Brita 1

A curva granulométrica da brita 1 e do RCD estão apresentadas no Gráfico 2. Pode-se observar ver que a dimensão máxima é de 19 mm, estando assim dentro dos parâmetros estabelecidos na NBR 7211/2009, permitindo sua utilização no concreto.

Comparando as curvas granulométricas da brita 1 e do RCD, verifica-se a semelhança entre os agregados, principalmente nos tamanhos dos grãos a partir da peneira de malha 4,75mm, tendo em vista que o resíduo da construção tem uma porcentagem maior de finos quando comparado a brita 1.

Gráfico 2: Análise granulométrica – agregado graúdo – brita 1



A partir da curva granulométrica pode-se constatar que o resíduo tem 92% de sua granulometria classificada como pedregulho segundo a classificação da norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

No Gráfico 2 também é possível identificar os diâmetros representativos do RCD: $D_{10} = 5,2$ mm; $D_{30} = 7,3$ mm; $D_{60} = 10,3$ mm. O RCD está inserido na faixa granulométrica, correspondente a brita 1 que fica ente 9,5 mm a 25 mm. Averígua-se que no processo de britagem o RCD sai com uma granulometria variada contendo partículas com diâmetros menores, isso é refletido na curva granulométrica fora dos limites estipulados pela norma representada pela linha amarela no Gráfico 2, apresentando cerca 3,99% na malha de 1,2 mm. Para solucionar esse problema o material foi peneirado na malha 4,75 mm com a finalidade de retirar a fração fina, antes de ser usado no traço e passou a ser denominado de RCD Beneficiado (linha azul no Gráfico 2).

Após o peneiramento do RCD pode-se perceber que a distribuição granulométrica do mesmo ficou quase análoga a da brita 1. A partir das curvas granulométricas podemos identificar os diâmetros mais representativos mostrada na Tabela 11.

Tabela 11: Diâmetros mais representativos.

Parâmetro	Brita 1(mm)	RCD (mm)
D ₁₀	5,2	4,4
D ₃₀	7,3	6,5
D ₆₀	10,3	10
CC	0,99	0,96
CU	1,98	2,27

Fonte: Autor, 2020.

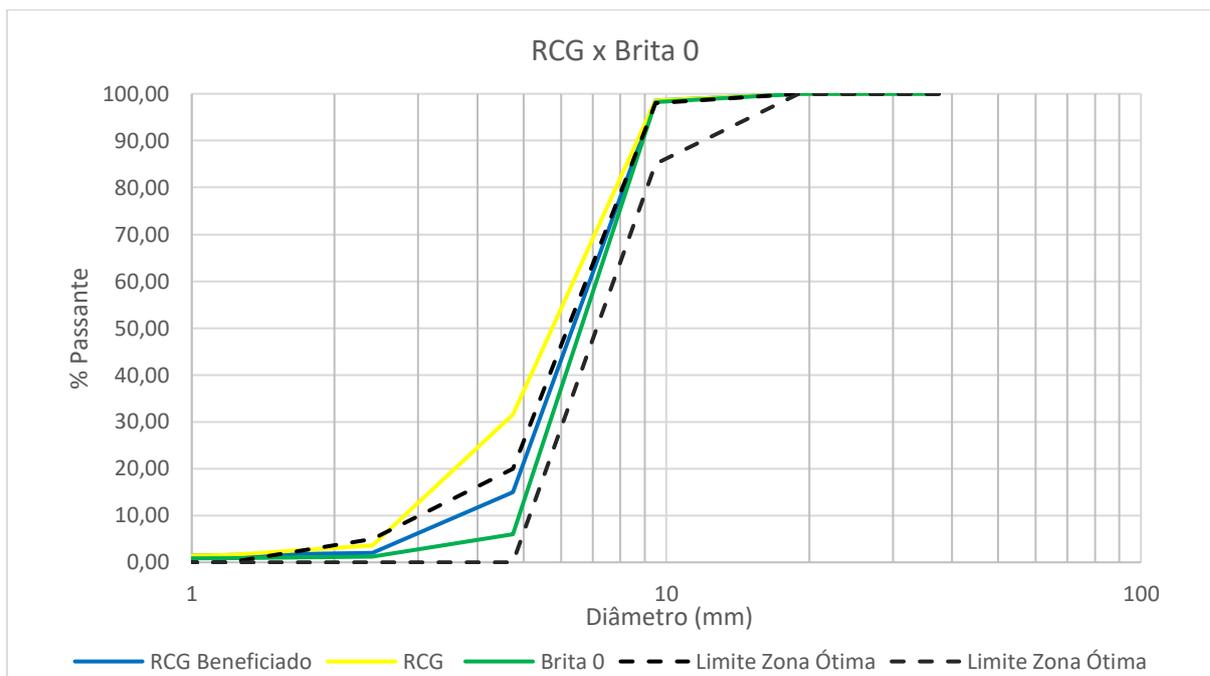
Conforme os resultados é possível caracterizar as curvas granulométricas do RCD e da brita 1 como curvas descontínuas de acordo com o valor de coeficiente de curvatura $CC < 1$ exposto na Tabela 11 com ausência de grãos finos. Nota-se que os diâmetros representativos do RCD e da brita 1 são bem similares, o que constata que os materiais têm composições granulométricas semelhantes e conseqüentemente que o RCD pode ser utilizado como insumo para substituir o agregado graúdo natural (brita 1).

4.1.2.2 RCG x Brita 0

No Gráfico 3 podemos ver a distribuição granulométrica do agregado graúdo do resíduo de caulim e da brita 0, assim podemos caracterizar a maior parte do mesmo como brita 0 com diâmetros das especificações utilizáveis na norma.

Na curva de caracterização do agregado graúdo pode-se constatar que o resíduo tem 92% de sua granulometria classificada como material graúdo segundo a classificação da norma NBR 7211 (ABNT,2009).

Gráfico 3: Granulometria do RCG x Brita 0.



Fonte: Autor, 2020.

O resíduo de caulim grosso apresenta uma variada distribuição granulométrica ficando bem próxima dos valores limites delimitados pela norma. Esse material bruto foi peneirado na malha 4,75 mm com a finalidade retirar as partículas menores que não se enquadram como brita 0. O agregado de RCG possui uma distribuição granulométrica mais distribuída sendo os diâmetros representativos: $D_{10} = 2,8$ mm; $D_{30} = 4,5$ mm; $D_{50} = 5,8$ mm; $D_{60} = 7,3$ mm. É possível também identificar os diâmetros representativos do resíduo *in natura*: $D_{10} = 5$ mm; $D_{30} = 5,7$ mm; $D_{50} = 6,5$ mm; $D_{60} = 7$ mm.

As duas curvas estão dentro dos limites estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2009), assim pode-se ressaltar que resíduo apresenta uma maior diversidade de diâmetros, quando comparada com a brita 0, o que acarreta em um melhor preenchimento dos vazios deixados pela brita, tornando-se um concreto mais denso. Logo, pode-se afirmar que a brita 0 está dentro dos parâmetros estipulados pela norma., a maior quantidade retida foi na malha de 9,5 mm representando 98% da amostra, assim podemos observar que na faixa granulométrica do agregado tem-se um material graúdo, como não foi redito na malha 19 mm podemos caracterizar o material como brita 0 de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

4.2 Massa Unitária

As massas unitárias dos agregados naturais e dos resíduos estão exibidas na Tabela 12 mostrada abaixo. Os valores de massa unitária dos agregados são necessários para determinar as quantidades dos materiais na dosagem do concreto, assim como para transformar um traço em massa para volume e vice versa.

Tabela 12: Dados correspondentes ao ensaio de massa unitária dos agregados graúdos

Agregado	Massa Unitária (g/cm ³)
Brita 1	1,45
Brita 0	1,38
RCD	1,09
RCG	1,34

Fonte: Autor, 2020.

Segundo Cabral (2007) a redução da massa unitária do RCD em relação ao agregado graúdo acontece devido a diminuição da densidade do próprio material e da alta porosidade característica dos agregados reciclados. o formato irregular das partículas dos agregados contribui também para a redução da mesma. No entanto essas reduções têm relação direta com a granulometria do RCD. As massas de ambos os agregados, observou-se que estão bem próximas, existindo uma variação de 2,9% entre os dois materiais RCG e brita 0, que mostra a semelhança entre os mesmos.

4.3 Absorção

Os ensaios de absorção de água, mostrados na Tabela 13, indicaram que o agregado de RCD possui um alto índice de absorção em comparação com o agregado natural (brita 1), chegando cerca de 16 vezes à porcentagem do mesmo. Esse crescimento poderá ocasionar o aumento do teor de água na pasta de concreto, conseqüentemente aumentando a quantidade de poros, o que pode comprometer as propriedades mecânica do concreto.

Tabela 13: Absorção de água dos agregados graúdos.

Agregado	Absorção (%)
Brita 1	0,6
Brita 0	1,83
RCD	9,66
RCG	8,24

Fonte: Autor, 2020.

Pode-se observar que o o resíduo de caulim possui alto índice de absorção 4,5 vezes maior quando comparado com a brita 0. Assim podemos constatar que o RCG se comportou de forma semelhante ao RCD, ambos possuindo elevada absorção.

De acordo com o trabalho de Zhang (2018) ao realizar o ensaio de absorção dos resíduos da construção, submerso por 24h de acordo com norma chinesa (T 0330–2005) obteve valores médios de absorção de 9.18 % corroborando com os dados encontrados na presente pesquisa.

4.4 Determinação dos traços e dosagem

Adotou-se dois traços, pois o agregado de RCG foi caracterizado com brita 0 e o de RCD como brita 1, assim foi necessário desenvolver dois traços diferentes para atender as características de cada resíduo.

Os traços com RCD foram determinados a partir do método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Tendo como base os dados dos ensaios de caraterização e uma resistência de 20MPa. Como pode-se observar na Tabela 14, a relação água/cimento aumenta conforme o acréscimo da quantidade de resíduo na composição para efetuar a correção do traço de acordo com a absorção dos agregados. Isso acontece porque o resíduo possui absorção de água elevada. Na composição de 15% acrescentou-se água em uma proporção de 8,16% ficando assim não muito distante da relação água cimento de referência. Já nas composições de 30 e 50% adicionou-se 14,28% e 22,44% respectivamente, em relação ao traço convencional, esse aumento pode gerar mais espaços vazios com a saída da água no processo de cura, diminuindo assim o desempenho do concreto.

Tabela 14: Dados correspondentes aos Traços

Composição	Traço
RDC 15%	1: 2,28: 2,62: 0,53
RDC 30%	1: 2,28: 2,62: 0,56
RDC 50%	1: 2,28: 2,62: 0,60
Convencional	1: 2,28: 2,62: 0,49

Fonte: Autor, 2020.

Como o RCG foi classificado como brita 0, se fez necessário desenvolver um traço convencional com a utilização de brita 0 e brita 1 para melhor caracterizar o desempenho do agregado. O traço foi determinado partir do método (ABCP), Tendo como base os dados dos ensaios de caracterização e uma resistência de 30 MPa baseando-se nos trabalhos de Almeida (2017) e Barbosa et al (2016). Assim, a partir da caracterização dos agregados tem-se, relação água cimento (a/c) de 0,49 para o traço padrão como mostrado na Tabela 15, onde o traço de referência de 1: 1,8: 2,85: 0,51 (cimento: areia: brita: a/c), usando uma proporção de 30% de brita 0 e 70% de brita 1 para totalizar o agregado graúdo. A Tabela 15 apresenta os dados dos respectivos traços.

Tabela 15: Dados correspondentes aos traços

Composição	Traço
Caulim 15%	1:1,8:2,85: 0,50
Caulim 30%	1:1,8:2,85: 0,51
Caulim 50%	1:1,8:2,85: 0,52
Convencional	1:1,8:2,85: 0,49

Fonte: Autor, 2020.

Com o acréscimo de agregado RCG também se aumenta a relação a/c, só que em uma proporção menor do que no caso do RCD. A composição com maior valor de a/c em relação ao traço convencional é de 1,96%.

Conforme visto na Tabela 15, concretos contendo até 15% de RCG têm quase os mesmos resultados de absorção de água do agregado convencional. Resultados semelhantes para absorção e porosidade foram encontrados por Lotfy *et al.* 2015.

4.5 Ensaio de consistência

O ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*). Determina a consistência e a trabalhabilidade do concreto, que está diretamente ligada à sua capacidade de ser moldado. Na Tabela 16 observa-se que a trabalhabilidade do concreto com substituição de RCD apresentou diminuição em função do acréscimo do agregado reciclado, isso se deve a sua elevada absorção de água. já em relação a substituição do RCG tivemos valores bem semelhantes.

Tabela 16: Dados correspondentes ao ensaio de abatimento

Traço	<i>Slump Test</i> (cm)
Conv. Brita 1	7
Conv. Brita 0	4
RCD 15%	7
RCD 30%	6
RCD 50%	5,5
RCG 15%	4
RCG 30%	4,2
RCG 50%	4,5

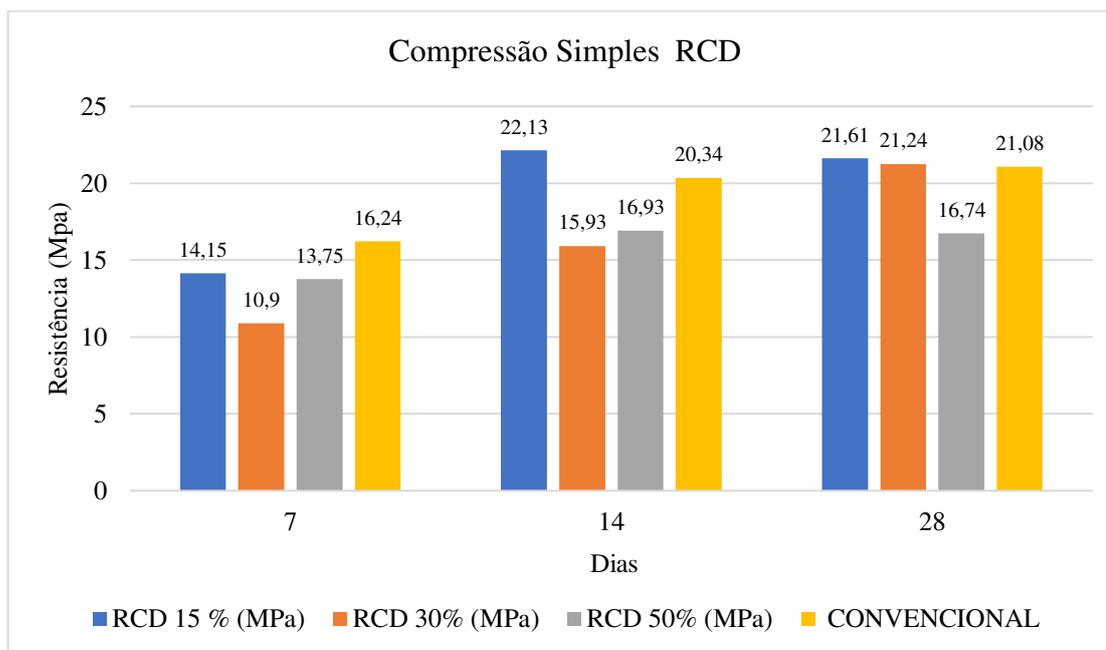
Fonte: Autor, 2020.

O mesmo procedimento do ensaio de *Slump Test* foi realizado para o traço com substituição de caulim grosso assim tem-se os dados da Tabela 16 mostra que o caulim não tem muita influência sobre o abatimento do concreto, tem-se uma pequena de 0,5 cm para o traço de 50% em relação de 15% e ao convencional.

4.6 Ensaio da resistência à compressão axial simples

O Gráfico 4 mostra os valores dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial simples para três idades de curas estudadas: 7, 14 e 28 dias. Assim, com base nos ensaios verifica-se que o concreto com RCD nas substituições de 15%, 30% e 50%, ressaltando o traço de 15% que mostrou o melhor desempenho, superando assim o traço convencional após os 14 e 28 dias de cura, isto pode ser constatado a partir da análise do Gráfico 8 exposto abaixo. Ao final dos 28 dias o RCD 15% se mostrou com uma resistência a compressão de 21,61 MPa superando assim o convencional que obteve uma resistência de 21,08 MPa, pode-se verificar que o RCD atingiu resistências mínimas para um concreto de fins estruturais como estipuladas pela Norma NBR 6118 (ABNT, 2014).

Gráfico 4: Resistência à Compressão Simples RCD



Fonte: Autor, 2020.

Como pode-se observar no Gráfico 4, o aumento da quantidade de RCD inserido, não resulta em valores superiores para compressão simples, isso se deve ao teor de absorção de água do mesmo e também ao índice de vazios que aumentam de acordo com o grau de adição do agregado reciclado, confirmado pelos resultados obtidos por Poon (2004), fazendo uso de microscopia eletrônica de varredura (MEV) ele constatou que a pasta de cimento tinha uma alta porosidade, devida elevada absorção de água do RCD.

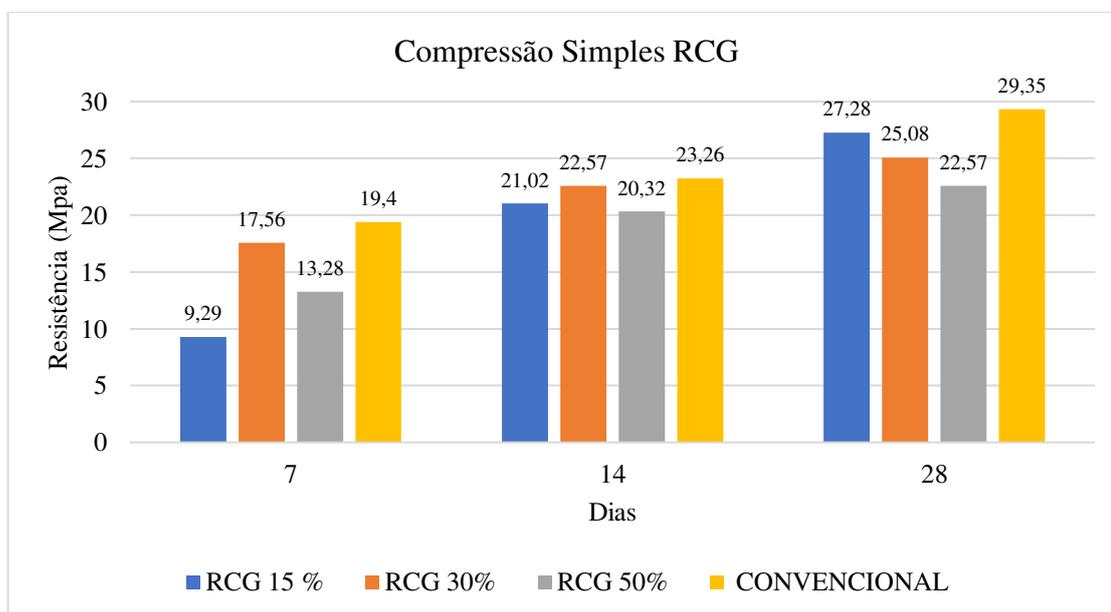
O RCD também possui massa unitária menor do que a do agregado convencional isso acarreta em uma maior distribuição de poros, gerando um concreto que não propicia o alcance de resistências mais elevadas. No entanto, a diferença de resistência entre os traços convencional e de RCD, ambos com a mesma idade de cura, foi relativamente pequena, proporcionando a viabilidade do emprego do agregado na construção civil.

Behera *et al* (2014) avaliando o desempenho de concretos produzidos com agregados reciclados da construção, em diferentes teores de resíduos e variações e relação a/c, apresentou valores de resistência a compressão de 22 e 20 MPa nas composições de 30% e 50% respectivamente usando uma relação a/c de 0,52. Desse modo, pode-se constatar que os dados corroboram com o presente estudo. vale ressaltar que as resistências apresentadas pelo autor diminuem em função do aumento da proporção resíduo e do aumento da relação a/c.

De acordo com o aumento de porcentagem do resíduo, foi verificado que a resistência diminuía, observa-se que as composições de 15% e 30% de RCD alcançaram a resistência a compressão mínima de concretos para fins estruturais, segundo a ABNT NBR 6118/14.

No caso do caulim podemos observa-se que Gráfico 5 apresenta os resultados dos ensaios de compressão axial simples em função das três idades de curas estudadas.

Gráfico 5: Resistência à compressão simples RCG.



Fonte: Autor, 2020.

Depois de 7 dias de cura o traço com 30% de caulim teve melhor desempenho em relação aos demais traços ficando mais próximo do concreto convencional. A menor resistência aos 7 dias se deu na composição de 15% com apenas 9,29MPa.

Ao fim dos 14 dias de cura podemos observar um acréscimo nas resistências nas composições de 15% e 50%, aos 28 dias tem-se uma mudança de comportamento com relação ao traço 15% de RCG pois o mesmo atinge 27,28MPa o melhor valor de resistência e se mostrou com valor mais próximo do traço de referência.

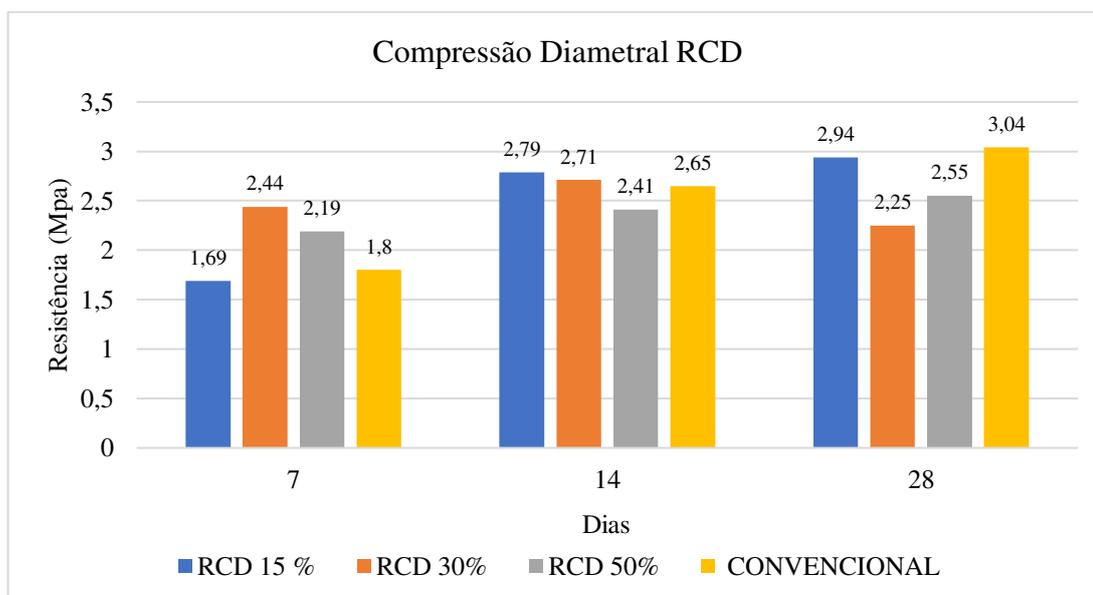
De acordo com Lotfy (2015) as variações da resistência à compressão dos concretos incorporados aos resíduos de caulim apresentaram valores de 37,9 a 47,9 MPa para composições utilizando 20% e 25% de substituição, constatando a eficiência do agregado para comportamento mecânico do concreto.

Após os 28 dias de cura o concreto de 15% alcançou o maior valor de resistência as composições, podemos observar que ele apresenta menor absorção, e que quanto menor a quantidade de água na composição tem-se um reflexo na melhoria das características mecânicas.

4.7 Ensaio da resistência à tração por compressão diametral

A ruptura desse ensaio ocorre ortogonalmente à direção da carga aplicada obtendo assim uma tensão-limite por tração. Constatou-se que os traços contendo o agregado de RCD obteve um desempenho aceitável no quesito resistência, mantendo-se bem próximo dos resultados do convencional. Desse modo, vale ressaltar que o traço de 15% atingiu resistência a compressão diametral de 2,94 MPa bem próxima ao resultado do traço convencional que foi de 3,04 MPa aos 28 dias, mostrando que o resíduo se mostrou com um bom desempenho resistência à tração por compressão diametral, como mostra o Gráfico 6 mostrado abaixo.

Gráfico 6: Resistência à compressão diametral Resíduo da Construção.



Fonte: Autor, 2020.

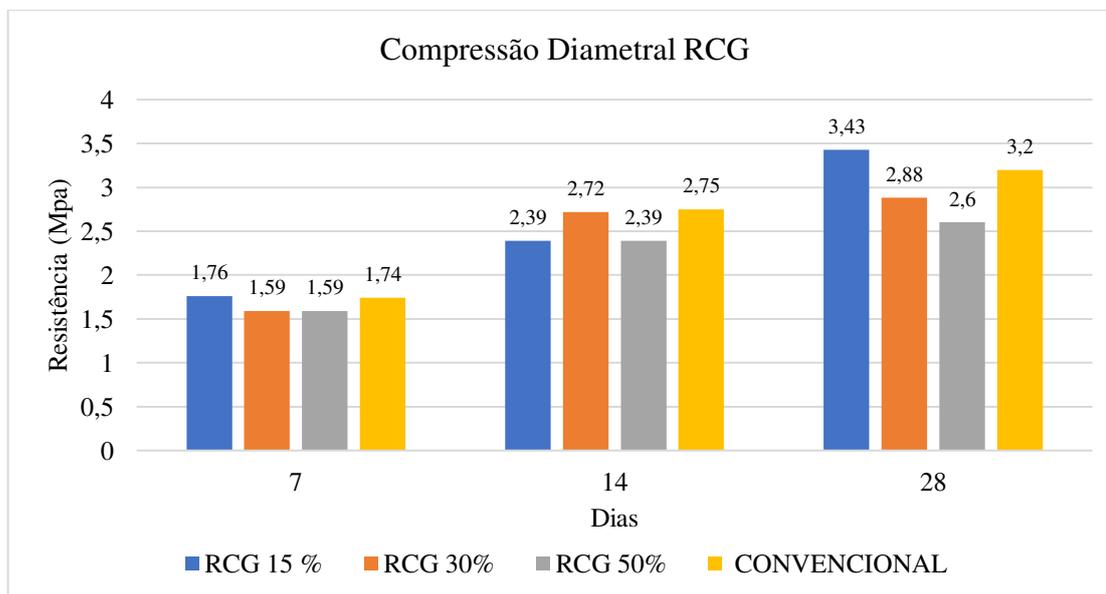
No ensaio de resistência a compressão diametral o RCD 15% apresentou o menor valor de resistência aos 7 dias de cura, mostrando uma baixa resistência inicial, pode-se ressaltar também os resultados do traço de RCG 30% aos 28 dias que apresentou resistência menor que aos 14 dias, isso pode ter corrido por fatores externos, como mal adensamento na hora da moldagem ou até elevada absorção de água do agregado.

Ao fazer uma comparação entre a resistência à compressão simples e a resistência à compressão diametral, observa-se que a mesma foi menos afetada com a adição de RCD. De acordo Leite (2001) esses resultados pode ser explicados pela resistência à tração considerada para os mecanismos de aderência física entre as partículas do concreto, contudo, o uso de agregados demonstrou uma boa aderência entre a pasta e o agregado, em razão da sua forma

mais irregular e porosa, mostrando que o mesmo pode ser empregado na substituição do agregado graúdo.

O Gráfico 7 mostra os valores de resistência à compressão diametral dos traços produzidos com caulim grosso em comparação com o traço de referência, para as idades de 7, 14 e 28 dias.

Gráfico 7: Resistência à Compressão diametral Caulim.



Fonte: Autor, 2020.

Ao analisar os traços de 30% e 50%, aos 7 dias de cura tiveram resistências semelhantes, no entanto ficaram abaixo do concreto de referência. Para a mesma idade de cura, a composição de 15% obteve valor superior ao concreto produzido com agregado natural ao final do período de cura.

Aos 14 dias obteve-se o maior aumento de resistência do concreto com 30% de resíduo, se aproximando do concreto convencional. Ao final dos 28 dias o traço com 15% de caulim apresentou a melhor resistência com 3,43 MPa, superando a resistência do concreto base e o valor mínimo de tração por compressão diametral (2,6 MPa), NBR 6118 (ABNT, 2014) demonstrando possuir características que viabilizam sua aplicação.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a caracterização física dos materiais em estudo foram adequados para a utilização como agregado graúdo, estando dentro dos padrões estabelecidos pelas normas, desta forma os concretos produzidos a partir dos resíduos tiveram desempenho aceitável nos ensaios mecânicos, ficando bem próximos e em alguns casos até superando os traços convencionais, tidos como referência. Pode-se ressaltar que os dois agregados tiveram absorção maior que o agregado natural o que influencia diretamente na resistência e no consumo de água do concreto.

Com relação a trabalhabilidade constatou-se que a porcentagem de resíduo influencia o abatimento, essa característica não se mostrou semelhante entre o caulim grosso e RCD pois as consistências se comportaram de maneira diferentes, mas de modo geral a consistência do concreto com as adições se manteve dentro do limite estabelecido de acordo com o ensaio de abatimento de tronco de cone de 6 ± 2 cm.

Os resultados da substituição de 15% do agregado RCD obteve a massa unitária e a absorção com certa discrepância quando comparados com o agregado convencional, consequência da maior porosidade e consequente maior permeabilidade do RCD, porém sendo feita a dosagem do resíduo a partir da análise dos resultados obtidos, pode-se conseguir valores equivalentes de resistência. Os valores de resistência a compressão foram satisfatórios, principalmente quanto a substituição de 15% e 30% que se equipararam ao valor da resistência do concreto convencional. Constatou-se também valores semelhantes de compressão diametral na substituição de 15% de RCD, devido à maior aderência física entre as partículas constituintes do RCD.

Observa-se que o RCD tem um alto teor de absorção, resultando na utilização de maior quantidade de água no traço do concreto, recurso indispensável para a sobrevivência humana e que já se torna de difícil acesso em algumas regiões do mundo, porém esse percentual de aumento torna-se compensatório quando comparado com os danos causados pela disposição incorreta desses resíduos.

A substituição da brita 0 pelo resíduo de caulim é benéfica levando em conta, que a mesma resulta no melhor preenchimento de vazios deixados pela brita 1, tornando um concreto mais compacto. Ambos apresentam massa unitária semelhantes, tornando satisfatória a substituição. Por outro lado, o resíduo possui uma absorção muito mais alta que a da brita 0, sendo de 4,5 vezes maior, o que ocasiona uma possível queda de resistência mecânica e aumento de permeabilidade.

Analisando as resistências observa-se que quanto maior a porcentagem do resíduo menor a resistência à compressão axial, sendo assim, o concreto de 15% atinge maior resistência que os demais, no entanto, todas as composições ultrapassaram a resistência a compressão axial mínima de 20 MPa. Já em relação a tração por compressão diametral, o concreto com 15% apresentou a melhor resistência (3,43 MPa) ultrapassando a resistência do concreto base. Para as porcentagens de 30 e 50% de resíduo, a resistência à tração diminuiu.

Desta forma conclui-se a partir dos resultados que a utilização de resíduos de caulim e de RCD são viáveis, economicamente e ambientalmente, fazendo uso na substituição parcial em concreto para fins estruturais, visto que os resíduos da mineração se encontram dispostos de maneira abundante, quase sem valor comercial, além da redução na utilização de mais recursos naturais, diminuindo assim o custo final do produto, o concreto com resíduo mostrou-se sustentável pois retira os resíduos de caulim e da construção do ambiente, dando uma destinação para o mesmo, tornando-o aplicável.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland–Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15146-1**: Controle tecnológico de concreto — Qualificação de pessoal, 2011.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 7225** - Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 1982. 7p <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/31466/31466.PDF>>. Acesso em: 29 jun 2019.

_____. **NBR 15116** - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos, 2004.

_____. **NBR 16697** - Cimento Portland – Requisitos, Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 12655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo Controle, Recebimento e Aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015. ABNT – Associação

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, p.238, Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52: Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 67**: Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1998.

ABESC – ASSOCIACAO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVICOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL. **Manual do concreto dosado em central**. Disponível em <<http://www.abesc.org.br/pdf/manual.pdf>> Acesso em 10 de Outubro de 2020.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2019, pág. 68.

Agência Brasília. **Concreto reciclado é usado em obras públicas**, Brasília, janeiro, 2020. Disponível em: < <https://agenciabrasilia.df.gov.br/2020/01/30/concreto-reciclado-e-usado-em-obras-publicas/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

ALMEIDA, K. M. VIDAL, F. W. H. CASTRO, N. F. Utilização do resíduo de caulim na composição do concreto. **Jornada de Iniciação Científica e I Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação**. v. xxv, p. 5, 2017.

ANGULO, SERGIO CIRELLI, **Caracterização de agregado de resíduos de construção e demolição e a influência de suas atenuações no comportamento do concreto**. Pag. 15-17. ESCOLA POLITECNICA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2005.

ANJOS, C. M.; NEVES, G. A.. **Utilização do resíduo de caulim para a produção de blocos solo-cal**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos. v.6, n.2, p.91-96, 2011.

Annual Book of ASTM Standards. **American Society for Testing and Materials**. ASTM C1260/94-Standard Test Method for potencial alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method). Philadelphia, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C125-18, **Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates**. In: Annual Book of ASTM Standards, 2001.

AZEREDO, G. DINIZ, M. Self-compacting concrete obtained by the use of kaolin wastes, **Construction and Building Materials**,v. 38, p.515-523. 2013.

BARRETO, I. M. C. B. do N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Sergipe: Sinduscon, 2005.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Estruturas de Concreto Armado**. 2014. Notas de Aula - Disciplina de Estruturas de Concreto I, curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, 2014. Disponível em:<<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Introducao.pdf>>. Acesso em: 01 jul 2020.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro, LTC – Livros Técnicos e Científicos, 5º Ed, v. 1, 2003. 435p. 2008.

BAUER, L. A. F.; NORONHA, M. A. A; BAUER, R. J. F. **Uso de aditivos no concreto**. In: BAUER, L.A.F (org). **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BEHERA, M., BHATTACHARYYA, S.K., MINOCHA, A.K., DEOLIYA, R., MAITI, S. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards

sustainability in construction sector: A review. **Construction and Building Materials**. v.68, p. 501-516. 2014.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **RESOLUCAO Nº 307**, pg. 01-02, 2002.

BRAVO, M. BRITO, J. PONTES J. EVANGELISTA, L. Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition waste recycling plants, **Journal of Cleaner Production**. v. 99. p.59-74. 2015.

CABRAL, E. S.; LEITE FILHO, E. M.; ARAÚJO, R. B. **Impactos ambientais: uma abordagem das atividades de beneficiamento de caulim na região Borborema/Seridó na Paraíba**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA. Goiânia: Centro Científica Conhecer, v. 5, n. 8, Goiânia, 2009.

CARNEIRO, J. A. L. LIMA, P. R L. LEITE, M.B. FILHO, R. D. T. Compressive stress–strain behavior of steel fiber reinforced-recycled aggregate concrete, **Cement and Concrete Composites**, Volume 46. Pages 65-72.2014.

CEMEX. **Projeto piloto da CEMEX em Berlim, construído com concreto agregado reciclado especial**. 7 de dezembro de 2015.

DIAS, S. L. **Incorporação de resíduos de caulim em argamassas de assentamento e revestimento para uso em construção civil – avaliação da atividade pozolânica**. 2010. 71f. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia.

DIN 4226-100. Mineral aggregates for concrete and mortar-Part 100: **Recycled aggregates**; 2000 [in German].

EVANGELISTA, L., BRITO, J. Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v.32. n.1, p. 9-14. 2010.

FOGUESATTO, André Frederico. **Estudo da Utilização de Areia Residual do Processo de Fundição Como Agregado Graúdo Para Concreto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007.

GIAMMUSSO, S., **Manual do concreto**. São Paulo: PINI, 1992, p. 23-24.

GOMES, M. BRITO, J. Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: durability performance. **Materials and Structures**. p. 663-675, v.42, 2009.

GOMES, Paulo César Correia *et. al.* **Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados**. pag 1, 2015.

GONZÁLEZ-FONTEBOA B, MARTÍNEZ-ABELLA F, CARRO DL, SEARA-PAZ S. **Stress–strain relationship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate**. Constr Build Mater v.25. p. 2335–42. 2011.

IBRACON, **Instituto Brasileiro do Concreto** - Disponível em: <<http://site.ibracon.org.br/search?searchword=concreto&searchphrase=all>> Acesso em: 25 de ago de 2020.

IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração **ECONOMIA MINERAL DO BRASIL**, Março/2018 Brasília, 2018. Disponível em:<<https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2018/02/economia-mineral-brasil-mar2018-1.pdf?x73853>>IBRAM, Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 7ª Edição p.22 – 23.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Pará possui a maior planta de caulim do mundo**. 2016. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=263141>. Acesso em: 8 de março de 2020.

IERVOLINO, Marcilene. **Tecnologia dos materiais de construção. Curso técnico de edificações**. 3 ed. Suzano, 2012.

IPEA, Instituto de Pesquisa Economica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil: Relatório de pesquisa**. Brasilia – DF, 2012.

ISMAIL, S., RAMLI, M. “**Mechanical strength and drying shrinkage properties of concrete containing treated coarse recycled concrete aggregates**”, *Construction and Building Materials*, v. 68, pp. 726–739, 2014.

KARPINSK, L.A; PANDOLFO, A; REINERER, R.; GUIMARÃES, J.C.B; PANDOLFO, L.; KUREK, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre, RS: Edipucrs, 2009.

LIMA, P.R.L, LIMA, M.B.L. SANTIAGO, E. Recycled lightweight concrete made from footwear industry waste and CDW. **Waste Manage** (Oxford).30(6):1107–13. 2010.

LIMA, S. F., LIMA, C. I. V., COUTINHO, C. O. D., AZEVEDO, G. G. C., BARROS, T. Y. G., & TAUBER, T. C.. **Concreto e suas inovações**. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas* – UNIT. Alagoas, 2014.

LOTFY, A. KARAHAN, O. OZBAY, E. HOSSAIN, H. M.A. **Effect of kaolin waste content on the properties of normal-weight concretes**. *Construction and Building Materials*. Volume 83, Pages 102-107. 2015.

MÁRTIRES, R. A. C. **Mineração de Minerais Industriais**. cap. 6. *DNPM*, 5, 2009.

MAZUR, Rogério Lago. **Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de carbono/PEKK com aplicações aeronáuticas**. 2010. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2010.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI, 1 a edição. São Paulo, 2010.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, PAULO J. M. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª. Ed. São Paulo: Ibracon, 2008.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1997.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2014. 674p.

MENEZES, R. R. et al. **Atividade pozolônica dos resíduos do beneficiamento do caulim para uso em argamassas para alvenaria**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, AGRIAMBI, vol. 13. n. 6. p. 795 – 801. 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p. Tradução: Ruy Alberto Cremonini.

NOGUEIRA, Luís Gustavo da silva. **Utilização de RCD na confecção de um concreto sustentável**. Pag., 111-116. Centro Universitário de Brasília-UniCEUB. 2013.

OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. de.. **Geologia de engenharia**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 586p. São Paulo, 1998.

PEDROSO, F. L.. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. **Concreto e Construções**, IBRACON, n.53, p. 14-15, 2009.

PEREIRA, Eric Vallotti. **Influência de Fibras de Aço no Comportamento Mecânico e nos Mecanismos de Fissuração de Concretos Autoadensáveis**. Rio de Janeiro Julho de 2017 Dissertação de Mestrado.

PETRUCCI, E. G. R.. **Concreto de cimento Portland**. Globo, 13.ed. São Paulo, 1998.

POON. C.S. SHUI, Z.H. LAM, L. Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates, **Construction and Building Materials**, v.18, n.6. p. 461-468. 2004.

RAO A, Jha K, MISRA S. **Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete**. Resour Conserv Recycl;50(1):71–81. 2007.

RESENDE, M. L. S. et al. Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 3, p. 285-290, 2008.

REZENDE, M. L. S.. **Resíduo de caulim primário como material pozolânico em concreto seco: propriedades físico-mecânicas e durabilidade**. 179f. 2013.

RODRIGUES, Edmundo. **Agregados**. Livro para o SBEA, 2012. Disponível em: < <http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmundo/Agregados.pdf>> Acesso em: 10 de ago de 2019.

SANTOS, R. A.; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. M. **Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Cascavel, v. 8, n. 8, p. 1818-1828, set.-dez. 2012.

SINDUSCON-SP. **Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo**, Disponível em < <https://sindusconsp.com.br/> > Acesso em 10 de outubro de 2020.

STADT ZÜRICH. **Recycled concrete mock-up. Zurique, Suíça**, 2018. Disponível em: <www.stadt-zuerich.ch/beton-konkret>. Acesso: 20 set. 2019

WILSON, I. R. MURRAY, H. H., MACGILLIVRAY, G. et al. **Geology and evaluation of the Yamouth kaolin deport**, Nova Scotia, Canada. In: 12th international clay conference, Bahia Blanca; 2003, p. 355–359.

XIAO J, LI J, ZHANG C. Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading. **Cem Concr Res** 35(6):1187–94. **2005**.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar** 9. ed. São Paulo: Pini: SINDUSCON, 2008.

ZHANG, J.X. WANG, B. SONG, B. Composition design and performance characterization of a novel backfilling concrete derived from urban construction waste. **Journal of Cleaner Production**. Volume 190. Pages 508-516. 2018.